

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ И СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

***Д.С. СТРЕБКОВ, академик РАН, доктор технических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва***

Рассмотрены инновационные технологии возобновляемой энергетики, которые включают новую энергетическую модель будущего мира на основе глобальной солнечной энергетики, волноводные резонансные электрические сети и системы на основе технологий Н. Тесла, электрический бесконтактный высокочастотный наземный транспорт, системы электроснабжения морских кораблей с использованием воды для передачи электрической энергии, свободнопоточные гидротурбины, использующие энергию океанских течений, однопроводниковые системы освещения на основе светодиодов и ламп с автоэлектронной эмиссией, плазменные методы переработки твердых органических отходов, установки для производства многокомпонентного моторного и котельного топлива, мини-ТЭЦ и солнечные когенерационные электростанции.

Энергосбережение, возобновляемая энергетика, бесконтактный электротранспорт, вертикальное земледелие.

В настоящее время топливная энергетика обеспечивает 87,1 % мировых потребностей в энергии. Наши оценки и оценки зарубежных экспертов показывают, что к концу столетия более 80 % мирового потребления энергии будет обеспечиваться технологиями бестопливной энергетики: гидроэнергией, биоэнергетикой, солнечной энергетикой, ветровой и геотермальной энергетикой совместно с водородной энергетикой.

Цель исследований – анализ энергосберегающих технологий в энергетике и сельском хозяйстве.

Результаты исследований. Пути повышения эффективности использования энергетических ресурсов. Коэффициент полезного использования топлива в РФ составил в 2011 г. 57,3 %, доля потерь в электрических сетях 10,1 %, в тепловых сетях 10,7 %, доля потребления энергии на собственные нужды электростанций 6,3 %, удельный расход энергии на отопление зимних теплиц 115 кг у. т./м², удельный расход топлива на отпуск тепловой энергии от котельных 177 кг у.т./ Гкал, удельный расход топлива на работу тракторов 21,1 кг у.т./ га пашни, топливная экономичность новых легковых автомобилей, работающих на бензине, 7,28 л/100 км, на дизельном топливе 6,31 л/100 км, удельный расход энергии в зданиях учреждений бюджетной сферы 68 кг у.т./м² в год, в жилых зданиях 46,4 кг у.т./м² в год [1,4].

Для снижения тарифов на электроэнергию необходимо увеличивать коэффициент использования топлива за счет производства энергии на высокоэффективных когенерационных электростанциях, снижать стоимость топлива и развивать бестопливную и низкоуглеродную распределенную энергетику с использованием возобновляемых источников энергии.

Предлагаем при реализации инвестиционных программ энергетических компаний разрешать проектирование и строительство новых котельных только с использованием когенерации, а также установить сроки модернизации существующих котельных и других установок в мини-ТЭЦ с когенерацией электрической и тепловой энергии в газопоршневых энергетических установках.

Разрешать проектирование, строительство и эксплуатацию малоэтажных зданий, школ, гостиниц и курортно-оздоровительных учреждений при наличии когенерационных систем солнечного горячего водоснабжения на крышах и устройств для отопления на основе тепловых насосов со сроком окупаемости таких систем менее 5 лет.

Использование твердых и жидких органических отходов в качестве топлива для когенерационных электростанций. Суммарный объем захоронения твердых отходов на полигонах городов РФ составляет 95 млрд. т ежегодно увеличивается на 3,5 млрд т. Суммарная площадь полигонов в РФ для захоронения твердых отходов составляет 2500 км² [4].

Мусорные свалки содержат металл, камни, стекло и твердые органические отходы (ТОО). Содержание ТОО оценим в 75 % от общей массы свалок. Таким образом, в качестве топлива ежегодно можно использовать 2,625 млрд т новых ТОО и 2,375 млрд т ТОО со старых свалок. Это позволит полностью прекратить образование новых свалок и ликвидировать старые свалки в объеме 95 млрд т за $95:2,375/0,75 = 30$ лет.

В качестве когенерационных электростанций (КЭС) предлагаем использовать газопоршневые энергетические установки электрической и тепловой мощностью 1,3 МВт, а для получения газового топлива для работы КЭС использовать плазменные технологии быстрого пиролиза производительностью по переработке ТОО 100 т в сутки и собственным электропотреблением 300 кВт. Таким образом, с учетом энергозатрат на собственные нужды КЭС будет генерировать в энергосистему электрическую мощность 1 МВт и перерабатывать в год 36 000 т ТОО.

При оценке сроков окупаемости рассматриваемых энергетических проектов необходимо учитывать экономический эффект от уничтожения свалок, рекультивации земель и улучшения экологии городов и сельских поселений.

Другими возобновляемыми ресурсами ТОО являются отходы лесного и сельского хозяйства, а в безлесных районах энергетические плантации быстрорастущих деревьев на землях, не пригодных для сельскохозяйственного производства.

Важнейшими источниками загрязнения окружающей среды и возобновляемыми ресурсами топлива для КЭС являются жидкие канализационные стоки городов и посёлков, жидкие стоки ферм, жидкие отходы сахарных и спиртовых заводов и т.д.

Для переработки жидких органических отходов (ЖОО) с содержанием воды 80–95% в электроэнергию плазменные пиролизные технологии непригодны из-за больших энергетических затрат на предварительную сушку ЖОО. Российские ученые предложили для переработки ЖОО новые технологии сверхкритического водного окисления (СКВО) органических веществ в жидкости. Для КЭС электрической мощностью 1 МВт потребуется переработка 150 т ЖОО в сутки, что связано с меньшим содержанием в ЖОО органических веществ по сравнению с ТОО. Для городов это означает сокращение площадей под очистные сооружения, прекращение сброса канализационных стоков в море, как это имеет место в Сочи, Геленджике, Малаге, Барселоне (Испания), в приморских городах Австралии и других стран.

Крупные фермы, которые сейчас содержат несколько прудов-отстойников для навозных стоков, смогут обеспечить электроэнергией и теплом не только собственные потребности, но и население окружающих деревень и сельских районов.

Предлагаем разработать программу переработки твердых и жидких органических отходов городов и сельскохозяйственных предприятий (свалки, жидкие канализационные стоки и стоки ферм и т.д.) в электрическую энергию и теплоту с использованием наукоёмких инновационных российских технологий.

Одним из направлений снижения затрат на углеводородное топливо является производство биотоплива – биодизельного топлива и биоэтанола из растительного сырья. Для того, чтобы не создавать конкуренцию между производством продуктов питания и биотоплива, для производства биотоплива целесообразно использовать непродовольственное растительное сырье, например древесную биомассу для биоэтанола и микроводоросли для биодизельного топлива.

Смесевое многокомпонентное топливо. Другим направлением снижения затрат на моторное и котельное топливо является производство смесевое многокомпонентного топлива. Содержание углеводородного топлива (дизельное топливо или мазут) в многокомпонентном дизельном топливе составляет 80 %. Действующий образец оборудования для получения многокомпонентного топлива производительностью 2 т/ч установлен в лаборатории биотоплива ВИЭСХ (рис. 1). Сравнение характеристик дизельного, мазутного и многокомпонентного топлива представлено в табл. 1 [4].

Преимущества технологии и оборудования:

- малое энергопотребление – 0,5 кВт·ч/м³;
- небольшие габаритные размеры и масса;
- простота обслуживания;
- длительный срок службы.



Рис. 1. Установка для получения многокомпонентного топлива производительностью 2 т/ч в отделе биоэнергетики ФГБНУ ВИЭСХ

Использование многокомпонентного топлива в тракторных, судовых, автомобильных, тепловозных и стационарных дизельных двигателях приводит к уменьшению вредных выбросов в атмосферу на 30–40 %.

1. Характеристика дизельного и многокомпонентного моторного топлива

№ п/п	Параметр топлива	Летнее дизельное топливо	Многокомпонентное моторное топливо с содержанием дизельного топлива 80 %
1.	Теплота сгорания низшая, кДж/кг	42776	44327
2.	Массовая доля серы, %	0,13	0,038
3.	Вязкость кинематическая, сСт при 20 °С	4,8	3,9
4.	Температура вспышки в закрытом тигле, °С	75	73
5.	Цетановое число	50	61 (стандарт Евро–4)
6.	Класс промышленной чистоты	12	Выше 17
7.	Срок хранения топлива, лет	–	1

В котельном многокомпонентном топливе содержание углеводородного топлива составляет 50 %, что позволяет в 2 раза снизить затраты на отопление.

При уровне потребления дизельного топлива 6 млн т в год необходимо 100 комплектов оборудования для производства многокомпонентного дизельного топлива производительностью 10 м³/ч. При цене дизельного топлива 30 руб./л годовая экономия средств на закупку дизельного топлива составит 36 млрд руб. (1,2 млрд долл.).

Потребление моторного топлива грузовым автомобильным, водным и железнодорожным транспортом РФ составляет 50 млн т у.т. в год с долей грузового автомобильного транспорта более 60 %. Использование многокомпонентного топлива позволяет снизить потребление дизельного топлива, бензина и мазута на транспорте на 20 %, на 10 млн т у.т./год, что эквивалентно снижению затрат более чем на 300 млрд руб. в год.

Бесконтактный электрический транспорт. Перспективным направлением снижения затрат на моторное топливо является замена двигателей внутреннего сгорания на электропривод, что позволяет снизить затраты до 1 долл. США на 100 км пробега. В связи с высокой стоимостью литий-ионных аккумуляторов целесообразно развивать технологии беспроводной передачи электроэнергии от внешнего источника энергии на мобильные электроагрегаты.

Разработки бесконтактной системы электроснабжения для транспорта выполняются в ВИЭСХ на базе резонансных методов передачи электроэнергии по однопроводниковому кабелю с использованием технологий Н.Тесла [5, 6, 9, 10].

Электроэнергия от источника к электроприемникам подается через воздушный промежуток между днищем автомобиля и дорожным покрытием, в котором проложена однопроводниковая линия (рис. 2).

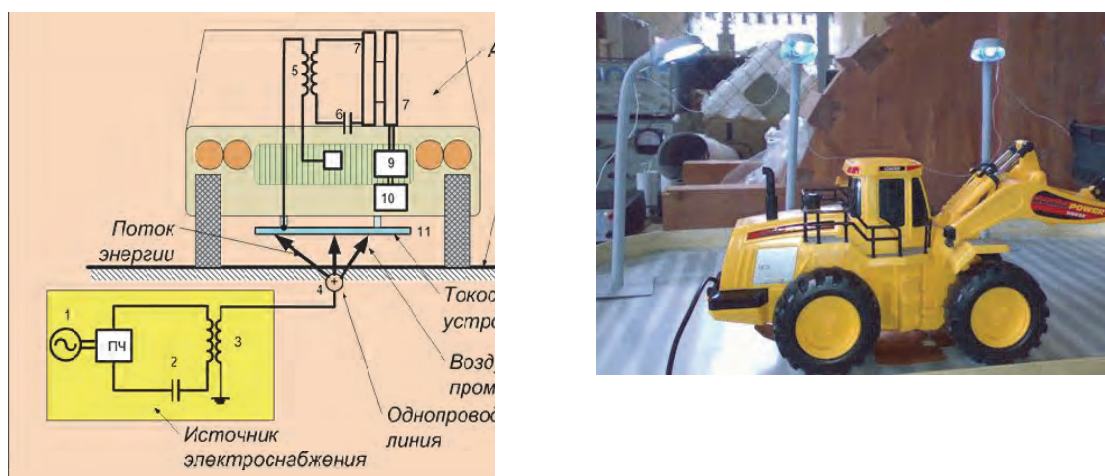


Рис. 2. Макетные образцы систем беспроводного электроснабжения транспортных средств

Люминесцентные лампы с холодными катодами и электронной эмиссией. В настоящее время наблюдается бум светодиодного освещения [3]. По прогнозам к 2020 году светодиодные светильники должны занимать 75 % российского рынка. В будущем светодиоды заменят недорогими люминесцентными лампы с холодными катодами и автоэлектронной эмиссией. Это эффективная и недорогая альтернатива. В инновационных лампах использован совершенно другой принцип работы, другие комплектующие, но основные рабочие характеристики у них такие же: долговечность 50000–70000 ч, надежность, очень высокий КПД. В отличие от

светодиодов, в производстве новых ламп не используются дорогие полупроводники, и себестоимость ламп с холодными катодами и автоэлектронной эмиссией в 3–10 раз ниже. В 2013 году ВИЭСХ совместно с кафедрой вакуумной электроники МФТИ запатентовали эту технологию и предложили схему освещения с использованием новых ламп на основе уже описанной резонансной системы электроснабжения на основе идей Н.Тесла.

На рис. 3 электрическая энергия от солнечной батареи 1 или от аккумулятора 2 с контроллером заряда 3 подается на вход преобразователя 4, затем через конденсаторы 12, 13 на низковольтную обмотку 5 повышающего высокочастотного резонансного трансформатора 6. Низкопотенциальный вывод 14 высоковольтной обмотки 7 через конденсатор 15 соединён с землей. Высоковольтная обмотка 7 высокочастотного резонансного трансформатора 6 своим высоковольтным выводом 8 соединена с однопроводной линией 9 со светильниками 10-1, 10-2, 10-3, ..., 10-n ($n = 1, 2, 3, \dots, n$), имеющими естественные ёмкости 11-1, 11-2, 11-3, ..., 11-n ($n = 1, 2, 3, \dots, n$). Благодаря этому осуществляется подача электрической энергии к светильникам и их работа.

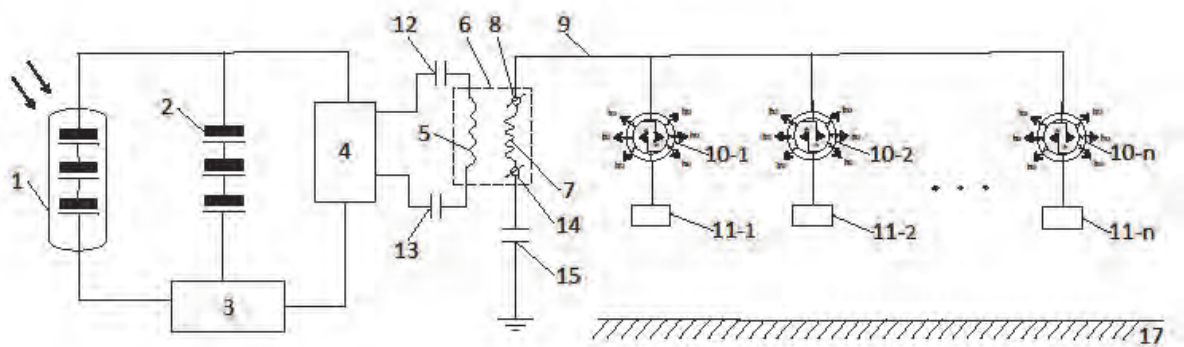


Рис. 3. Схема резонансной однопроводниковой системы электрического освещения с использованием люминесцентных источников света с холодными катодами

Автокатодная люминесцентная лампа излучает световой поток при потреблении мощности менее 1 Вт, эквивалентный световому потоку энергосберегающей люминесцентной лампы мощностью 12 Вт [3] (рис. 4).

Бестопливное производство энергии. Новые российские технологии солнечной энергетики включают бесхлорные технологии солнечного кремния, технологии солнечных кремниевых модулей с КПД 20 % при 60-кратной концентрации солнечного излучения, технологии сборки солнечных модулей со сроком службы 40–50 лет, технологии концентраторных солнечных модулей.

Солнечная электростанция (СЭС) состоит из солнечных фотоэлектрических модулей, опорной конструкции, сетевого инвертора, электрической подстанции [7].

Предлагается для разработки и изготовления СЭС использовать три типа энергоблоков.



Рис. 4. Опытный образец люминесцентной лампы с холодными катодами и автоэлектронной эмиссией

СЭС со стационарными концентраторами и двухсторонними планарными солнечными модулями с концентрацией 3,5. Концентраторный солнечный модуль пиковой мощностью 0,8 кВт на испытательной площадке ВИЭСХ показан на рис. 5. Площадь фотоприемника по сравнению с СЭС без концентратора снижена в 3 раза (разработка и патент ВИЭСХ).

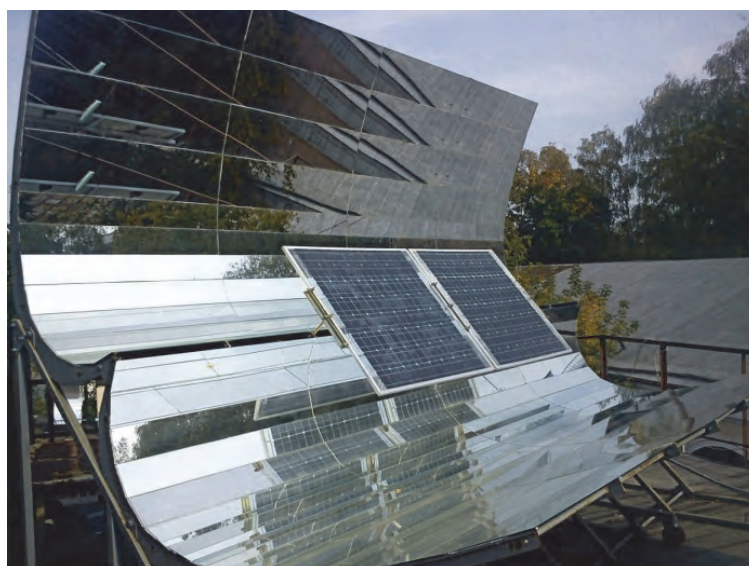


Рис. 5. Экспериментальный образец неследящего солнечного цилиндрического концентраторного модуля пиковой мощностью 800 Вт

СЭС с концентрацией 50–60 со слежением за Солнцем. СЭС с цилиндрическими концентраторами и фотоприемником на основе матричных солнечных элементов (МСЭ) с КПД 20 % и концентрацией 50–60 (разработка и патент ВИЭСХ) имеет площадь фотоприемников по сравнению с СЭС без концентраторов меньшую в 50–60 раз.

В связи с высоким уровнем концентрации солнечной энергии необходимо использовать системы жидкостного охлаждения и слежения за Солнцем.

СЭС без концентраторов. СЭС на основе планарных солнечных модулей без концентраторов имеет срок службы 40–50 лет (разработка и патент ВИЭСХ). Энергоблок такой СЭС пиковой мощностью 1150 Вт на испытательной площадке ГНУ ВИЭСХ показан на рис. 6.



Рис. 6. Солнечная энергетическая установка мощностью 1150 Вт

СЭС могут быть разработаны для работы в режиме когенерации с производством электрической энергии и теплоты.

Для всех трех типов СЭС ВИЭСХ разработает технический проект, изготовит на заводе ВИЭСХ и закажет в фирмах-изготовителях комплектующие устройства, осуществит технадзор за монтажными и пусконаладочными работами и пуском в эксплуатацию.

Мегапроект «Глобальная солнечная энергетика». На рис. 7 и 8 представлена глобальная солнечная энергосистема с круглосуточным производством электроэнергии в объеме 20 000 ТВт·ч, равном мировому энергопотреблению.

В гидроэнергетике будут широко использоваться бесплотинные ГЭС на основе свободнопоточных гидротурбин, использующих не только энергию рек, но и энергию океанских и морских подводных течений, которые образуются силами Кориолиса при вращении Земли, а также гравитационными силами взаимодействия Луны и Земли [7].

Скорость воды в Гольфстриме составляет 2,235 м/с, в проливе Лаперуза до 4,5 м/с. При скорости воды 2,235 м/с гидротурбина мощностью 500 кВт будет иметь лопасти диаметром 17,73 м, скорость вращения 2,463 об/мин, момент на валу 14831 кг·м, КПД 37 % и производить электрическую энергию в объеме 3725·10³ кВт·ч в год.

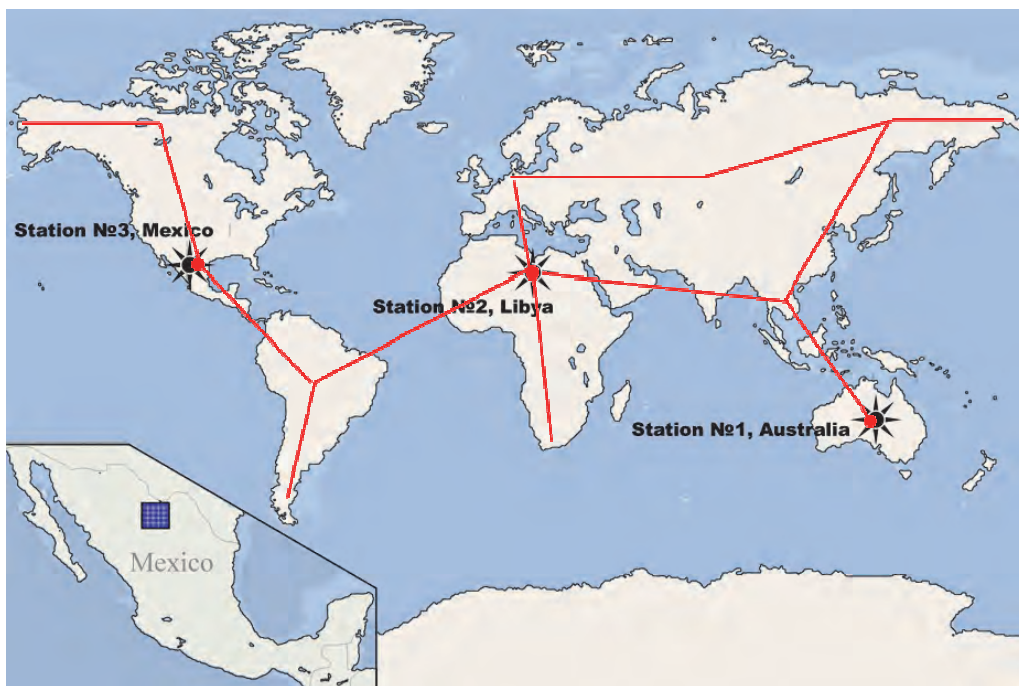


Рис. 7. Глобальная солнечная энергетическая система из трех солнечных электростанций

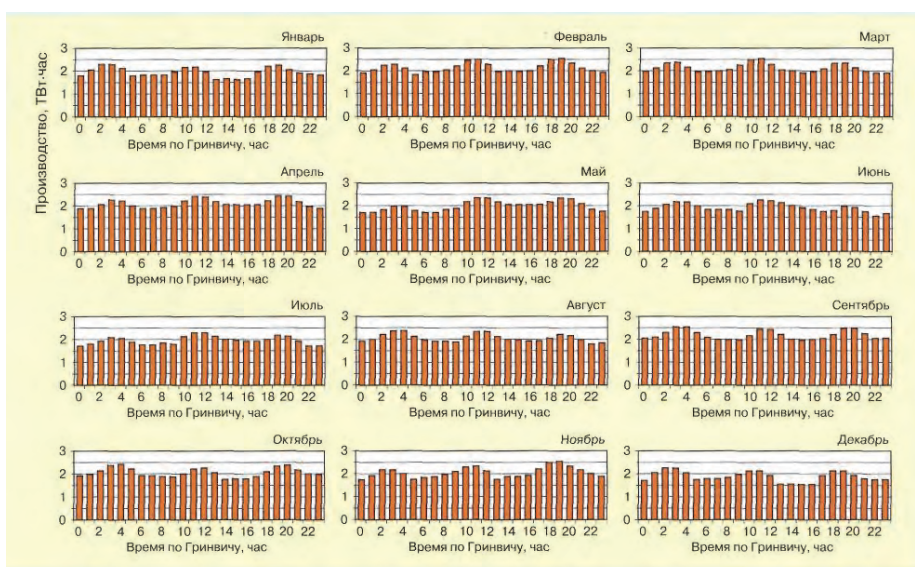


Рис. 8. Круглосуточное производство электроэнергии глобальной солнечной энергосистемой в объеме 20 000 ТВт·ч в год

По коэффициенту использования установленной мощности (КИУМ) океанская гидротурбина (КИУМ 0,75-0,95) в 4–8 раз превосходит СЭС (КИУМ 0,1-0,16) и ВЭС (КИУМ 0,15-0,23) и сравнима с угольной ТЭС (КИУМ 0,75-0,85). Стоимость гидротурбины \$ 2500/кВт сравнима со стоимостью угольной ТЭС. В стоимости электроэнергии в гидротурбине нет затрат на топливо, эксплуатационные расходы малы (2 %), а расходы на амортизацию составляют \$0,061/ кВт·ч при сроке амортизации 20 лет и 4 %-ной ставке за кредит.

По сравнению с угольной ТЭС гидротурбина снижает выбросы CO₂ в объеме 10833 т/МВт-год. Гидротурбина устанавливается на глубине 50–100 м на дне, не мешает проходу судов, рыболовству и не опасна для морских обитателей из-за малой скорости вращения лопастей. В ВИЭСХ совместно с предприятиями промышленности разрабатываются проекты речных свободнопоточных гидротурбин мощностью 10-100 кВт и морских гидротурбин мощностью 100–1000 кВт.

Роботизированные комплексы для выращивания органических продуктов питания. В недалеком будущем сельское хозяйство сможет переместиться из собственно сельской местности в крупные города. В ВИЭСХ предлагают строить в мегаполисах многоэтажные биотехнологические фабрики, способные в идеальном чистых условиях и почти без участия человека выращивать любые виды органики: от злаков до кроликов. Технологии имеют низкую энергоемкость, высокую рентабельность и позволяют собирать, к примеру, 300 кг помидоров с 1 м² земли против стандартных для теплицы 30 кг, причем без использования каких-либо химических веществ и ГМО [2].

Специалистами ВИЭСХ во главе с руководителем лаборатории, профессором Д.И. Повериным, предложен первый в мире проект такого роботизированного производственного комплекса – «Фрактальная инновационная биотехнологическая кластерная платформа» (ФИБКП) с энергоснабжением от возобновляемых источников энергии.

Новые принципы земледелия и животноводства предполагают, что посадка материала, сбор урожая, производство кормов, уход за животными и все остальные стадии агропроизводства и животноводства осуществляются в полностью в автоматическом и непрерывном режиме. В отличие от гидро- и аэропоники, это безупречно чистый и замкнутый способ производства, основанный на бионических принципах, исключающий использование гормонов, антибиотиков, синтетических добавок.

Создание таких предприятий:

- делает возможным выращивание больших объемов свежих овощей и ягод на непригодных для сельского хозяйства территориях и в климатически неблагоприятных районах.
- позволяет в сжатые сроки насытить рынки дешевой, качественной и безопасной пищевой продукцией;
- делает сельское хозяйство независимым от природных аномалий;
- освобождает гигантские территории и неэффективно используемые трудовые ресурсы.

Эксафлопные компьютерные технологии. Для реализации рассмотренных стратегических проектов потребуются компьютерные системы управления производительностью 10^{16} – 10^{18} операций в секунду. В табл. 2 показано развитие компьютерной техники для управления мегапроектами и сложными системами [11].

Компьютерная техника для управления мегапроектами и сложными системами

№ п/п	Производительность компьютера	Число операций в секунду	Год создания
1.	1 мегафлопс	10^6	1964
2.	1 гигафлопс	10^9	1985
3.	1 терафлопс	10^{12}	1996
4.	1 петафлопс	10^{15}	2008
5.	10 петафлопс	10^{16}	2012
6.	100 петафлопс	10^{17}	2015
7.	1 эксафлопс	10^{18}	2016-2020

Социально ориентированная экономика должна опираться не на хаос рынка, а на прогнозируемые плановые процедуры [8]. Эксафлопные компьютерные технологии позволяют создать новую систему организации производства и управления экономикой и разрабатывать мегапроекты с базами данных на 20 млн единиц и на миллионы поставщиков продукции.

Выводы

1. Инновационные технологии возобновляемой энергетики включают новую энергетическую модель будущего мира на основе глобальной солнечной энергетики, волноводные резонансные электрические сети и системы на основе технологий Н. Тесла, электрический бесконтактный высокочастотный наземный транспорт, системы электроснабжения морских кораблей с использованием воды для передачи электрической энергии, свободнопоточные гидротурбины, использующие энергию океанских течений, однопроводниковые системы освещения на основе светодиодов и ламп с автоэлектронной эмиссией, плазменные методы переработки твердых органических отходов, установки для производства многокомпонентного моторного и котельного топлива, мини-ТЭЦ и солнечные когенерационные электростанции.

2. Технологии вертикального земледелия и биотехнологические платформы на их основе будут использоваться для выращивания органических продуктов питания на непригодных для сельского хозяйства территориях, например в пустынях. Роботизированные комплексы сделают сельское хозяйство независимым от погодных условий и в перспективе позволят решить проблемы обеспечения человечества дешевой, качественной и безопасной пищевой продукцией.

Список литературы

1. Оценка потенциала и концепция энергосбережения в теплоснабжении ЖКХ Москвы / Л.А. Иванютин, А.И. Бабахин, Д.С. Стребков [и др.] // Вестник ВИЭСХ. – 2012. – Вып. 4(9) – С. 2–5.

2. Поверин Д.И. Фрактальные инновационные биотехнологические кластерные платформы – базовая основа модернизации сельского хозяйства / Д.И. Поверин // Вестник ВИЭСХ. – 2012. – Вып. 4(9). – С.58–62.

3. Резонансные системы светодиодного освещения / Д.С. Стребков, Л.Ю. Юферов, О.А. Рощин, А.А. Михалев // Вестник ВИЭСХ. – 2012. – Вып. 1(6). – С. 26–30.
4. Стребков Д.С. Инновационные энергетические технологии для АПК / Д.С. Стребков // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Междунар. науч.-техн. конф., посвященная 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики акад. В.П. Горячкина: сб. науч. докладов. – М.: ГНУ ВИМ, 2013. – С.23–29.
5. Стребков Д.С. Исследование резонансного метода передачи электрической энергии по технологическим трубопроводам / Д.С. Стребков, А.И. Некрасов, В.З. Трубников // Вестник ВИЭСХ. – 2010. – Вып. 1(5). – С. 116–119.
6. Стребков Д.С. Об электроэнергетике, основанной на незамкнутых электрических токах / Д.С. Стребков // Вестник ВИЭСХ. – 2010. – Вып. 1(5). – С.105–106.
7. Стребков Д.С. Перспективы развития возобновляемой энергетики / Д.С. Стребков // Вестник ВИЭСХ. – 2012. – Вып. 3(8). – С.3–8.
8. Стребков Д.С. Разработка и реализация концепции развития в регионах единой трехуровневой информационной системы оперативного управления сельскохозяйственным производством / Д.С. Стребков, И.М. Кузнецов, М.В. Макеев // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – Вып. 1(10). – С.13–22.
9. Стребков Д.С. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии / Д.С. Стребков Д.С., А.И. Некрасов. –М.: Изд-во ГНУ ВИЭСХ, 2013. – 580 с.
10. Стребков Д.С. Электрические сети и системы на основе технологий Николы Тесла / Д.С. Стребков // Электро. Электротехника и электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 3. – С. 2–6.
11. Шабаров А.В. Система организационного управления реализацией программы развития эксафлопных технологий / А.В. Шабаров // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – Вып. 4(13). – С.72–81.

Розглянуто інноваційні технології відновлюваної енергетики, які включають нову енергетичну модель майбутнього світу на основі глобальної сонячної енергетики, хвилеводні резонансні електричні мережі і системи на основі технологій Н. Тесла, електричний безконтактний високочастотний наземний транспорт, системи електропостачання морських кораблів з використанням води для передачі електричної енергії, вільнопотокові гідротурбіни, які використовують енергію океанських течій, однопроводнікові системи освітлення на основі світлодіодів і ламп з автоелектронної емісією, плазмові методи переробки твердих органічних відходів, установки для виробництва багатоконпонентного моторного та котельного палива, міні-ТЕЦ і сонячні когенераційні електростанції.

Енергозбереження, відновлювана енергетика, безконтактний електротранспорт, вертикальне землеробство.

Considered innovative renewable energy technologies include a new energy model for the future of the world on the basis of the global solar industry, waveguide resonance electrical networks and systems based on Tesla technology, electric contactless high ground transportation, power systems of marine vessels with water for electric power transmission, hydraulic turbine using the energy of

ocean currents, single-conductor lighting systems based on light-emitting diodes and field emission lamps, plasma processing techniques of solid organic waste, plants for the production of a multi-engine and boiler fuel, CHP cogeneration and solar power.

Energy Saving Technologies, renewable energy, contactless electronic transport, vertical agriculture.

УДК 631.53.027.34

ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

***В.М. ПАВЛІСЬКИЙ, доктор технічних наук
В.Г. ПОДОБАЙЛО, В.Ю. РАМШ, кандидати технічних наук,
М.В. ПОТАПЕНКО, С.В. ГАЙДУКЕВИЧ, старші викладачі
ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”***

Обґрунтовано застосування електричних теплоакумуючих нагрівачів замість теплових систем, які працюють на біогазі. Розглянуто методику розрахунку системи регулювання температурного режиму електроакумуючої теплової установки.

Біогазові установки, ферментація, теплоакумуючі електронагрівачі, кількість теплоти.

Взаємозв'язок енергетики та економіки вимагає економії енергії на всіх рівнях виробництва і споживання та зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище. Це може бути досягнуто тоді, коли приріст потреб у паливі та енергії на 75–80 % буде задовольнятися за рахунок застосування відновлюваних джерел енергії.

В умовах гострої нестачі енергоресурсів і фінансових засобів у сільськогосподарських підприємств реальним виходом із кризи є створення біокомплексів. Застосування біогазових установок (БГУ) дозволяє вирішити проблеми енергетичного, екологічного та агрохімічного характеру, а тому є базовою основою для створення екологічно чистих технологій, які дозволять підвищити ефективність використання природних ресурсів.

Основною перешкодою на шляху розвитку біогазових технологій в Україні є те, що наявні в Україні біогазові установки мають незначну питому величину виходу біогазу. Питання теплової ефективності біогазових установок та економічної ефективності використання біомаси ще не до кінця вирішено для установок промислового масштабу.

В основу роботи БГУ закладено біологічні процеси зброджування і розкладання органічних речовин під впливом метаноутворюючих бактерій в анаеробних умовах, характерних відсутністю вільного кисню, високої

© В.М. ПАВЛІСЬКИЙ, В.Г. ПОДОБАЙЛО,
В.Ю. РАМШ, М.В. ПОТАПЕНКО,
С.В. ГАЙДУКЕВИЧ, 2015

ocean currents, single-conductor lighting systems based on light-emitting diodes and field emission lamps, plasma processing techniques of solid organic waste, plants for the production of a multi-engine and boiler fuel, CHP cogeneration and solar power.

Energy Saving Technologies, renewable energy, contactless electronic transport, vertical agriculture.

УДК 631.53.027.34

ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

***В.М. ПАВЛІСЬКИЙ, доктор технічних наук
В.Г. ПОДОБАЙЛО, В.Ю. РАМШ, кандидати технічних наук,
М.В. ПОТАПЕНКО, С.В. ГАЙДУКЕВИЧ, старші викладачі
ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”***

Обґрунтовано застосування електричних теплоакumuлюючих нагрівачів замість теплових систем, які працюють на біогазі. Розглянуто методику розрахунку системи регулювання температурного режиму електроакumuлюючої теплової установки.

Біогазові установки, ферментація, теплоакumuлюючі електронагрівачі, кількість теплоти.

Взаємозв'язок енергетики та економіки вимагає економії енергії на всіх рівнях виробництва і споживання та зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище. Це може бути досягнуто тоді, коли приріст потреб у паливі та енергії на 75–80 % буде задовольнятися за рахунок застосування відновлюваних джерел енергії.

В умовах гострої нестачі енергоресурсів і фінансових засобів у сільськогосподарських підприємств реальним виходом із кризи є створення біокомплексів. Застосування біогазових установок (БГУ) дозволяє вирішити проблеми енергетичного, екологічного та агрохімічного характеру, а тому є базовою основою для створення екологічно чистих технологій, які дозволять підвищити ефективність використання природних ресурсів.

Основною перешкодою на шляху розвитку біогазових технологій в Україні є те, що наявні в Україні біогазові установки мають незначну питому величину виходу біогазу. Питання теплової ефективності біогазових установок та економічної ефективності використання біомаси ще не до кінця вирішено для установок промислового масштабу.

В основу роботи БГУ закладено біологічні процеси зброджування і розкладання органічних речовин під впливом метаноутворюючих бактерій в анаеробних умовах, характерних відсутністю вільного кисню, високої

© В.М. ПАВЛІСЬКИЙ, В.Г. ПОДОБАЙЛО,
В.Ю. РАМШ, М.В. ПОТАПЕНКО,
С.В. ГАЙДУКЕВИЧ, 2015

вологості і температурного середовища. Метанові бактерії витримують температурні коливання в межах 3–4 °С на добу [2]. Необхідна для життєдіяльності бактерій температура продуктів ферментації в метантенку, в кліматичних умовах України, може підтримуватися при використанні значних додаткових енергетичних затрат. У сучасних БГУ для підтримання температурного режиму в допустимих межах у зимовий період витрачається майже 70 % виробленого біогазу [3]. Заміна джерела первинної енергії – біогазу в системі постачання теплової енергії БГУ електричною енергією з підсистемою термоакумуючих установок дозволить значно підвищити економічні показники всієї системи.

Мета досліджень – обґрунтування застосування в БГУ термоелектричних установок замість теплових систем, які працюють на біогазі, та наведення методики розрахунку системи автоматичного регулювання термоелектричним обладнанням.

Матеріали та методика досліджень. Теплоакумуючі електронагрівальні установки вмикають в електромережу в години провалів добових графіків електронавантажень. Вирівнювання графіка електронавантажень сприяє підвищенню економічності використання встановленої потужності електрообладнання системи електропостачання. При тритарифній системі оплати за електричну енергію її вартість в нічний час з 21 до 7 год ранку в 4 рази дешевша за вартість денної енергії з 10 до 18 год, та в 7 разів дешевша за пікову енергію з 7 до 10 год ранку і з 18 до 21 год вечора.

Ефективність акумулювання теплової енергії можна оцінювати в Джоулях на гривню, в Джоулях на одиницю об'єму і в Джоулях на кілограм маси. Але перша оцінка є завжди вирішальною. Узагальнюючим показником ефективності додаткових капітальних вкладень є зведені витрати [4]:

$$B_{зв} = E_n K + C, \quad (1)$$

де $B_{зв}$ – зведені витрати, грн./рік; K – капітальні витрати, грн.; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, 1/рік.

Розрахунки показують, що застосування теплоакумуючих установок дозволить на 20–25 % зменшити вартість енергії, яка витрачається на власні потреби БГУ.

Щоб такі установки відповідали економічним вимогам, необхідно регулювати кількість накопиченої теплоти залежно від температури зовнішнього повітря, що дозволить зменшити коефіцієнт одночасності зарядки нагрівачів та знизити середню температуру блоків, а також змінювати тепловий потік електричними тепловими акумулюючими нагрівачами (ЕТАН) залежно від температури продуктів шумування метантенка.

Кількість накопиченої в ЕТАН теплоти регулюється зміною тривалості зарядки. Кількість теплової енергії, акумульованої ЕТАН, визначаємо за формулою [4]:

$$Q = Vc\rho(\theta - \theta_0), \quad (2)$$

де V – об'єм монолітів, м³; c – питома теплоємність, Дж/кг·°С; ρ – густина блоків, кг/м³; θ – середня температура блоків у кінці зарядки, °С; θ_0 – середня температура блоків на початку зарядки, °С.

Залежність необхідного теплового потоку для метантенка від температури зовнішнього повітря є прямолінійною.

$$P = P_p - r(\theta_1 - \theta_{1P}), \quad (3)$$

де P – тепловий потік, який необхідний для створення потрібної температури, Вт; P_p – розрахунковий тепловий потік, Вт; r – коефіцієнт, який залежить від теплофізичних характеристик метантенка, Вт/°С; θ_1 – температура зовнішнього повітря, °С; θ_{1P} – розрахункова температура зовнішнього повітря в найхолодніший період, °С.

Залежність температури ЕТАН, яка встановлюється до кінця періоду зарядки, від температури зовнішнього повітря має вигляд:

$$\theta = \frac{\theta_{1P} [P_p - r(\theta_1 - \theta_{1P})] + \theta_1}{Vc\rho(1-f)\eta}, \quad (4)$$

де f – постійна величина, $f = (\theta_{0P} - \theta_{1P})(\theta_P - \theta_{1P})$; η – ККД ЕТАН.

Залежність (4) має лінійний характер, що вказує на інерційний об'єкт автоматичного регулювання із запізненням. Тому, якщо на виході вимірювальних перетворювачів температури теплового акумулюючого моноліту (ТАМ) і температури зовнішнього повітря зростання сигналів будуть однаковими, але матимуть протилежні знаки, то сума цих сигналів буде постійною. Аналітично ці умови можна записати так:

$$\frac{d\mathcal{G}_c}{dt_1} = -\frac{dt_{1c}}{dt_1}; \quad (5)$$

$$\mathcal{G}_c(t_1) + t_{1c}(t_1) = const, \quad (6)$$

де \mathcal{G}_c – сигнал вимірювального перетворювача температури ТАМ; t_{1c} – сигнал вимірювального перетворювача температури зовнішнього повітря.

Для цього виду об'єктів доцільно застосовувати прості дискретні регулятори. Якщо за допомогою вимірювальних перетворювачів виконати умови (5) і (6), то на основі цих залежностей можна проектувати регулятори зарядки ТАМ.

Результати досліджень. Для аналізу і синтезу системи автоматичного регулювання тепловіддачі необхідно знати залежність створюваного ЕТАН теплового потоку від витрати води через канали ТАМ. Але передаточні функції, отримані операційним методом на основі фізико-математичного аналізу процесу тепловіддачі, виявилися трансцендентно-іраціональними із змінними параметрами. Тому, застосовувати їх у практичних розрахунках достатньо складно.

У цьому випадку доцільно використовувати перехідну характеристику, отриману при класичному методі розв'язання диференційного рівняння теплопровідності, а також застосовувати метод суперпозиції. Було прийнято, що при зарядці по всьому об'єму ТАМ діє рівномірно розміщене джерело

тепла, а температура в поперечному перерізі розподіляється за параболічним законом. Тоді рівняння для розрахунку створюваного ЕТАН нестационарного теплового потоку можна записати [4]:

$$P(\theta) = (FB_i \lambda / \delta \sum_{n=1}^{\infty} [(2 / \mu_n^2 - 2 / B_i)(\theta_{цО} - \theta_{пО}) - \theta_{пО} - t_0] A_n \cos \mu_n \exp(-\mu_n^2 F_0) + Fq\delta - Fq\delta B_i \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\mu_n^2}) \cos \mu_n \exp(-\mu_n^2 F_0), \quad (7)$$

де F – площа теплообмінної поверхні ТАМ, м²; B_i – критерій Біо; λ – теплопровідність матеріалу ТАМ, Вт/м²·°С; δ – половина ширини пластини, м; μ_n – корені характеристичного рівняння; $\theta_{цО}$, $\theta_{пО}$ – початкові температури в центрі та на поверхні блоків, °С; t_0 – початкова температура води, °С; F_0 – число Фур'є; q – інтенсивність внутрішнього джерела тепла, Вт/м³; A_n – початковий тепловий потік, Вт:

$$A_n = \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n}. \quad (8)$$

Якщо із виразу (7) відрахувати початковий тепловий потік, то отримаємо аналітичний вираз перехідної характеристики ЕТАН по каналу регулювання тепловіддачі.

Неодночасна комутація нагрівного пристрою позитивно впливає на режим напруги у споживачах.

Для підвищення якості регулювання температурою в об'єктах із запізненням доцільно вимикати частину секцій за допомогою терморегулятора, який реагує на зовнішню температуру. При низьких θ_0 він буде підтримувати частину секцій постійно увімкнутими, а при високих – вимкнутими.

Висновки. У системі постачання теплової енергії для БГУ джерело первинної енергії – біогаз доцільно замінити електричною енергією з підсистемою теплоакумулюючих установок.

Застосування теплоакумулюючих установок дозволить на 20–25 % знизити вартість енергії, яка витрачалася на власні потреби БГУ.

Трипозиційні терморегулятори дозволяють зменшити потужність комутації теплоакумулюючої установки та регулювати цикли її роботи.

Список літератури

1. Ключев А.С. Автоматическое регулирование / А. С. Ключев. – М. : Энергия, 1973. – 392 с.
2. Ковалев А.А. Технологические линии утилизации отходов животноводства в биогаз и удобрения / А.А. Ковалев, А.Н. Кошевичева. – М.: Агропромиздат, 1990. – 241 с.
3. Корчемний М.О. Энергобереження в агропромисловому комплексі / Корчемний М.О., Федорейко В.С., Щербань В.П. – Тернопіль: "Підручники і посібники", 2001. – 984 с.
4. Матко П.М. Электротеплоснабжение / П.М. Матко, К.Е. Бибеки. – М.: Энергия, 1971. – 274 с.

Обосновано применение электрических теплоаккумулирующих нагревателей вместо тепловых систем, работающих на биогазе. Рассмотрена методика расчета системы регулирования температурного режима электроаккумулирующей тепловой установки.

Биогазовые установки, ферментация, теплоаккумулирующие электронагреватели, количество теплоты.

Application of electric heaters heat accumulators instead of heating systems that run on biogas. The method of calculating system for regulating temperature of electric heat storage thermal installation.

Biogas plants, fermentation, heat accumulating heaters, amount of heat.

UDC 631.53.027.34

APPLICATION OF THE HALLOYSITE-BASED SORBENT FOR AGRICULTURAL BIOGAS PURIFICATION AND ELONGATION OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE LIFE

J. BOHDZIEWICZ, Ph.D., D.Sc. (Eng.)

Silesian University of Technology in Gliwice, Gliwice, Poland

J. CEBULA, Ph.D., D.Sc. (Eng.)

B. MROWIEC, Ph.D., D.Sc.(Eng)

The University of Bielsko-Biała, Bielsko-Biała, Poland

K. PIOTROWSKI, Ph.D., D.Sc. (Eng.)

Silesian University of Technology in Gliwice, Gliwice, Poland

O. PROKOPENKO, doctor of economics

Sumy State University, Sumy, Ukraine

P. SAKIEWICZ, Ph.D. (Eng.)

Silesian University of Technology in Gliwice, Gliwice, Poland);

J. SOŁTYS, Ph.D. (Eng.)

PTH INTERMARK, Gliwice, Poland

Preliminary research results on sulphur, nitrogen and silicon compounds sorption from biogas produced in a representative small agricultural biogas plant are presented. Applicability of mineral sorbent prepared by the authors based on natural halloysite from Dunino deposit (Poland) was tested. Prototype plant designed for investigation on effectiveness of the S, N and Si compounds removal from biogas was demonstrated. Influence of crude biogas combustion on selected elements of internal combustion engine and exhaust silencer was studied. Chemical composition of deposit formed in internal combustion engine was identified, as well.

Agricultural biogas, halloysite sorbent, sulphur, nitrogen, silicon, impurities removal.

Обосновано применение электрических теплоаккумулирующих нагревателей вместо тепловых систем, работающих на биогазе. Рассмотрена методика расчета системы регулирования температурного режима электроаккумулирующей тепловой установки.

Биогазовые установки, ферментация, теплоаккумулирующие электронагреватели, количество теплоты.

Application of electric heaters heat accumulators instead of heating systems that run on biogas. The method of calculating system for regulating temperature of electric heat storage thermal installation.

Biogas plants, fermentation, heat accumulating heaters, amount of heat.

UDC 631.53.027.34

APPLICATION OF THE HALLOYSITE-BASED SORBENT FOR AGRICULTURAL BIOGAS PURIFICATION AND ELONGATION OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE LIFE

J. BOHDZIEWICZ, Ph.D., D.Sc. (Eng.)

Silesian University of Technology in Gliwice, Gliwice, Poland

J. CEBULA, Ph.D., D.Sc. (Eng.)

B. MROWIEC, Ph.D., D.Sc.(Eng)

The University of Bielsko-Biała, Bielsko-Biała, Poland

K. PIOTROWSKI, Ph.D., D.Sc. (Eng.)

Silesian University of Technology in Gliwice, Gliwice, Poland

O. PROKOPENKO, doctor of economics

Sumy State University, Sumy, Ukraine

P. SAKIEWICZ, Ph.D. (Eng.)

Silesian University of Technology in Gliwice, Gliwice, Poland);

J. SOŁTYS, Ph.D. (Eng.)

PTH INTERMARK, Gliwice, Poland

Preliminary research results on sulphur, nitrogen and silicon compounds sorption from biogas produced in a representative small agricultural biogas plant are presented. Applicability of mineral sorbent prepared by the authors based on natural halloysite from Dunino deposit (Poland) was tested. Prototype plant designed for investigation on effectiveness of the S, N and Si compounds removal from biogas was demonstrated. Influence of crude biogas combustion on selected elements of internal combustion engine and exhaust silencer was studied. Chemical composition of deposit formed in internal combustion engine was identified, as well.

Agricultural biogas, halloysite sorbent, sulphur, nitrogen, silicon, impurities removal.

Preliminary research results on sulphur, nitrogen and silicon compounds sorption from biogas manufactured in a representative small agricultural biogas plant are presented. Practical applicability of mineral sorbent prepared from natural halloysite from *Dunino* deposit (Poland) was verified. Prototype plant designed for investigation on the S, N and Si compounds removal effectiveness was demonstrated. Corrosive effects from crude biogas combustion on selected elements of internal combustion engine and exhaust silencer were discussed. Chemical composition of deposit formed was also identified.

Biogas as a biomass derived product, especially from biochemical conversion of plant or animal wastes, waste-water treatment plants and municipal landfill areas is regarded as one of the most profitably energy carriers. Its main component is methane – gas of greenhouse effect's potential ca. 72-time higher than of CO₂. For natural environment especially important is preventing of spontaneous methane fermentation. Instead, controlled biogas production and its energy recovery – even by incineration – is a better option. Chemical composition of biogas from agricultural biogas plant significantly differs from landfill gas, biogas from municipal waste-water treatment plant or mine gas. Considering heterogeneity of biogas sources, depending even on the season, one can observe significant variation in impurity concentrations and in its general composition (Table 1). Also impurity removal efficiency can be different, depending on a given final application of biogas. Different types of impurities must be removed from biogas for fuel cells while different for gas turbines, gas network and for internal combustion engines. It should be also emphasized, that contents of individual impurities in different applications is a subject of strict regulations and norms.

Many research centers focus on elaboration and improvement of efficient methods of sulphur components removal from biogas [1–7]. Depending on biogas source one is able to identify different S compounds like: hydrogen sulphide - H₂S, sulphides - R₂S, disulphides – RSSR, dimethyl sulphide - CH₃SCH₃, methane thiol - CH₃SH, dimethyl disulphide - CH₃SSCH₃, carbon disulphide - CS₂, methylthiophene – C₅H₇S, ethylthiophene – C₆H₉S, alkyl disulphides C₃ – C₁₀ : C₃H₈S₂ – C₁₀H₂₂S₂, alkyltrisulphide C₆ - C₆H₁₄S₃ or carbon oxysulphide – COS.

Another environmentally important problem, indirectly affecting chemical composition of biogas, is common use of Si-organic compounds. The most often detected Si-organic compounds in biogas are: trimethylsilanol, hexamethyldisiloxane, octamethyltrisiloxane, decamethyltetrasiloxane, dodecamethylpentasiloxane, hexamethylcyclotrisiloxane, octamethylcyclotetrasiloxane, decamethylcyclopentasiloxane and dodecamethylcyclohexasiloxane. Presence of these compounds, individually or in various combinations, of different concentrations, is confirmed analytically in biogas independently of its origin. Various, more or less efficient technologies of these compounds removal were developed in many research centers worldwide [8–11].

The most commonly identified nitrogen compounds in biogas are mainly ammonia, aliphatic amines, aromatic amines and organic nitrogen components with N in a form of heteroatom.

1. Chemical composition of biogas produced from different types of biomass raw material

Component	Biogas 1	Biogas 2	Biogas 3	Biogas 4
CH ₄ [%]	50 - 60	60 - 75	60 - 75	68
CO ₂ [%]	34 - 38	19 - 33	19 - 33	26
N ₂ [%]	0 - 5	0 - 1	0 - 1	-
O ₂ [%]	0 - 1	<0.5	<0.5	-
H ₂ O [%], 40°C	2 - 5	2 - 5	2 - 5	2 - 5
H ₂ S [mg/m ³]	100 - 900	1000 - 4000	3000 - 10000	100
NH ₃ [mg/m ³]	150	100	50 - 100	400
Aromatics [mg/m ³]	0 - 200	90	0 - 100	50 - 150
Cl- or F-organics [mg/m ³]	100 - 800	150 - 250	140	250

Biogas 1 – biogas from organic fraction of kitchen wastes

Biogas 2 – biogas from municipal waste-water treatment plant

Biogas 3 – agricultural biogas

Biogas 4 – biogas from agricultural and food industry wastes

Similar problems are reported in case of energetics and coal mine industry, where impurities accompanying coal bed methane, depending on geological conditions, involve: C, S, N, Si, P and the halogen group compounds.

Presentation of the Research. To possibly reduce concentration of S, N and Si compounds the halloysite-based mineral sorbent was prepared. Halloysite $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ is a unique aluminosilicate of two-layer structure (Fig. 1), included to kaolin group. Because of structural nanotubes of dozen nanometers diameter and several micrometer length, halloysite found itself very useful in nanotechnology applications, not only as a filler, but also as a carrier of special substances. Specific surface area of raw, unmodified halloysite from *Dunino* deposit (Poland) which was used in research is ca. 60 m²/g. Halloysite is a negatively charged, porous mineral (Fig. 2), which sorption and ion-exchange properties are dependent on particles structure and polarization degree, as well as on their pore diameters. Inside interlayer space small amount of water can be found, forming monomolecular layer between the packages (Fig. 1).

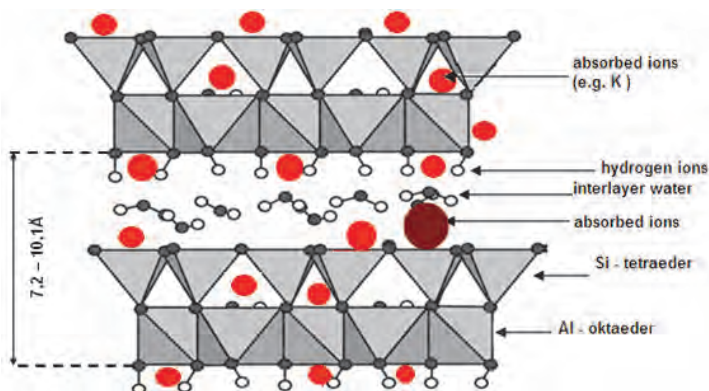


Fig. 1. Scheme of halloysite structure demonstrating potential possibility of binding ions locations [12]

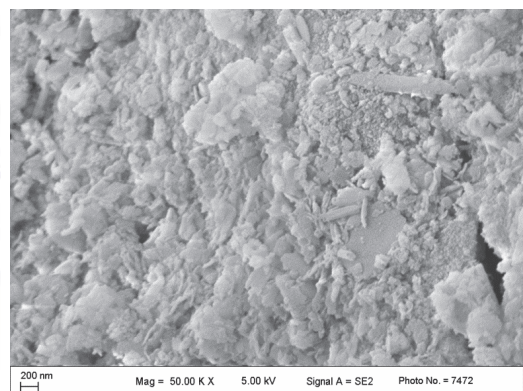


Fig. 2. Raw halloysite structure - loosely dispersed nanotubes and plates (SEM)

Working sorbent, denoted as HA1S, was specially prepared in physicochemical processes (acid activation + high temperature calcination) on raw halloysite, tailored to the specific adsorbates (S, N, Si compounds) properties. In such modified sorbent presence of all three pore types: micropores (<2 nm), mesopores (2– 50 nm) and macropores (>50 nm) was identified (porosimetric method). Agricultural biogas for the tests was provided from anaerobic fermentation plant on site. Its chemical composition is presented in Table 2.

2. Chemical composition of the raw agricultural biogas from the plant tested

Component	Concentration
CH ₄ [%]	54 - 56
CO ₂ [%]	38 - 44
N ₂ [%]	1 -3
O ₂ [%]	0 - 1
H ₂ O [%], 40°C	2 - 5
H ₂ S [mg/m ³]	1840
NH ₃ [mg/m ³]	2400
Aromatics [mg/m ³]	90
Cl- or F-organics [mg/m ³]	120
S compounds [mg/m ³]	before:1840, after 5
Si compounds [mg/m ³]	before: 42, after 0.1

Research focused on evaluation of sorption properties – efficiency and selectivity towards S, N and Si compounds. Special attention aimed at:

- construction of research stand for agricultural biogas purification (Fig. 3),
- deposition on elements of engine’s combustion chamber constructed for biogas fuel,
- deposition on exhaust gases silencer,
- pollution of the engine oil,
- pollution of combustion gases.

Measurements on efficiency of agricultural biogas purification were done using various sorption beds composed of halloysite, 40 cm height. Research stand integrated with small-scale agricultural biogas plant is presented in Fig. 3.

During combustion of crude biogas corrosion of concrete elements was observed. Acid sulphur and nitrogen oxides strongly destroyed concrete construction of exhaust gases silencer (Fig. 4). Contrary, combustion of correctly purified biogas is not connected with formation of significant amounts of deposit inside the engine. The internal combustion engine after 30,000 h of continuous work as an agricultural biogas plant’s element is presented in Fig. 5.

Chemical analysis of deposits in combustion chamber of the engine fed with mine gas (coal bed methane) of chemical composition similar to agricultural biogas is presented in Table 3.

Effects of direct use of crude biogas is presented in Fig. 6.



Fig. 3. Research stand in a small-scale agricultural biogas plant



Fig. 4. Destroyed elements of concrete exhaust gases silencer – corrosion effect of acid gases from the engine



Fig. 5. Application of purified biogas as the fuel – no destruction and corrosion effects are visible



Fig. 6. Effects of direct use of crude biogas (no purification)

As it results from the table, deposit contains relatively small amount of carbon, however large contents of Si and Al are observed. It should be noted, that deposits can also involve some products of complex chemical reactions of raw agricultural biogas compounds with lubricating oils improvers and other commercial additives like soot dispersants, viscosity modifiers, emulsifiers, antioxidants, anticorrosion additives, detergents and others.

3. Chemical analysis of deposits formed in combustion chamber fed with mine gas (coal bed methane) of chemical composition similar to agricultural biogas

Element	Test 1 [%]	Test 2 [%]	Test 3 [%]
Carbon	3.454	1.567	4.115
Oxygen	53.609	50.266	51.071
Silicon	17.353	22.225	20.48
Aluminium	17.765	18.304	17.627
Iron	1.428	2.375	0.388
Potassium	3.617	4.1	3.218
Magnesium	0.441	0.442	0.388
Titanium	1.857	0.717	0.931
S + Na	rest	rest	rest

Conclusions. Purification of crude agricultural biogas is important part of the technology. Appropriate biogas cleaning results in no deposits formed on movable and stationary elements of the engine. In the specific engine work conditions sulphur compounds are the most often chemically transformed into CaSO_4 while silicon compounds into SiO_2 . Both products are responsible for engine corrosion effects.

Sorption efficiency of S, N and Si compounds depends mainly on preliminary physicochemical activation of halloysite. Future work should involve more thorough insight into physicochemical mechanisms of S, N and Si compounds sorption on halloysite. Research results can be also applied in energetic and coal mining industries directly.

Reference

- 1.P. Mostbauer, L. Lombardi, T. Olivieri, S. Lenz, Pilot scale evaluation of BABIU process – Upgrading of landfill gas or biogas with use of MSWI bottom ash. *Waste Management* **34** (2014) 125–133.
- 2.K.-L. Ho, W.-C. Lin, Y.-C. Chung, Y.-P. Cheng, C.-P. Tseng, Elimination of high concentration hydrogen sulphide and biogas purification by chemical-biological process, *Chemosphere* **92** (2013) 1396–1401.
- 3.S. Rasi, J. Lantela, J. Rintala, Upgrading landfill gas using a high pressure water absorption process, *Fuel* **115** (2014) 539–543.
- 4.V. Palma, D. Barba, H_2S purification from biogas by direct selective oxidation to sulphur on $\text{V}_2\text{O}_5\text{-CeO}_2$ structured catalysts, *Fuel* **135** (2014) 99–104.
- 5.L. Micoli, G. Bagnasco, M. Turco, H_2S removal from biogas for fuelling MFCs: new adsorbing materials, *Int. J. Hydrogen Energy* **39** (2014) 1783–1787.
- 6.L. Yang, X. Ge, C. Wan, F. Yu, Y. Li, Progress and perspectives in converting biogas to transportation fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **40** (2014) 1133–1152.
- 7.D. Andriani, A. Wresta, T.D. Atmaja, A. Saepudin, A review on optimization production and upgrading biogas through CO_2 removal using various techniques, *Appl. Biochem Biotechnol.* **172** (2014) 1909–1928.
- 8.M. Arnold, T. Kajolinna, Development of on-line measurement techniques for siloxanes and other trace compounds in biogas, *Waste Management* **30** (2010) 1011–1017.

9.L. Sigot, G. Ducom, B. Benadda, C. Laboure, Adsorption of octamethylcyclotetrasiloxane on silica gel for biogas purification, *Fuel* **135** (2014) 205 – 209.

10.G. Piechota, B. Igliński, R. Buczkowski. Development of measurement techniques for determination main and hazardous compounds in biogas utilized for energy purposes, *Energy Conversion and Management* **68** (2013) 219–226.

11.O. Sevimoglu, B. Tansel, Comparison and source identification of deposits forming in landfill gas (LFG) engines and effect of activated carbon treatment of deposit composition, *Journal of Environmental Management* **128** (2013) 300–305.

12.J. Cebula, K. Piotrowski, J. Sołtys, M. Sołtys, New technology of biogas purification using halloysite filtration beds, in: *Sorbenty Mineralne. Surowce, Energetyka, Ochrona Środowiska, Nowoczesne Technologie*, ed. T. Ratajczak, G. Rzepa, T. Bajda, Wydawnictwa AGH, Kraków 2013, 91 – 104.

Наведено результати практичних досліджень щодо концентрації сірки, азоту і кремнію сорбції з біогазу, який був отриманий в малій сільськогосподарській біогазовій установці. У ході дослідження протестовано застосування мінерального сорбенту, отриманого авторами на основі натурального галлуазиту від Dunino депозиту (Польща). Також наведено результати використання заводського прототипу для дослідження ефективності видалення з біогазу S, N і Si з'єднань. Вивчено вплив згоряння сирової біогазової маси на окремі елементи двигуна внутрішнього згорання. Хімічний склад, утворений в двигуні внутрішнього згорання оцінений як відмінний.

Сільськогосподарський біогаз, галлузіат сорбенту, сірка, азот, кремній, видалення домішок.

Представлены результаты практических исследований по концентрации серы, азота и кремния сорбции из биогаза, который был получен в малой сельскохозяйственной биогазовой установке. В ходе исследования протестировано применение минерального сорбента, полученного авторами на основе натурального галлуазита от Dunino депозита (Польша). Также приведены результаты использования заводского прототипа для исследования эффективности удаления из биогаза S, N и Si соединений. Изучено влияние сгорания сырой биогазовой массы на отдельные элементы двигателя внутреннего сгорания и глушителя. Химический состав, образованный в двигателе внутреннего сгорания оценен как отличный.

Сельскохозяйственный биогаз, галлузиат сорбента, сера, азот, кремний, удаление примесей.

ЗМІНА pH РОЗЧИНІВ СОЛЕЙ ПІД ДІЄЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

***В.В. КОЗИРСЬКИЙ, доктор технічних наук
В.В. САВЧЕНКО, О.Ю. СИНЯВСЬКИЙ, кандидати технічних наук***

Наведено результати досліджень зміни pH водних розчинів солей при їх обробці у магнітному полі. Встановлено залежності зміни pH розчинів від магнітної індукції та швидкості руху розчину. Визначено оптимальні параметри обробки.

Розчин, магнітна індукція, швидкість руху, pH.

Застосування електротехнологічних методів дає можливість збільшити урожайність сільськогосподарських культур, підвищити якість та термін зберігання продукції.

Для успішного впровадження електротехнологій необхідно встановити механізм дії електромагнітного поля на рослинну клітину та визначити оптимальні режими обробки.

Всі біохімічні процеси в клітинах рослин відбуваються у водному середовищі. Вода використовується у всіх хімічних реакціях, переносить поживні речовини, підтримує пружність органів. Клітини рослин мають подібний хімічний склад [1].

Під дією магнітного поля змінюється швидкість хімічних реакцій та зміщується їх рівновага [3]. Це викликає зміну pH.

Мета досліджень – встановлення впливу магнітного поля на зміну pH водних розчинів.

Матеріали та методика досліджень. Експериментальні дослідження зміни pH розчинів солей проводилися на лабораторній установці. Розчини пропускали через магнітне поле, що створювалося постійними магнітами.

При дослідженні впливу магнітної індукції на pH водних розчинів її регулювали зміною відстані між магнітами в межах 0 – 0,35 Тл. Магнітну індукцію вимірювали тесламетром 43205/1. Швидкість руху розчинів через магнітне поле становила 0,6 м/с, а температура – 20 °С.

Величину pH розчину визначали до магнітної обробки розчину та після неї за допомогою іономіра И-160М. За різницею вимірювань робили висновок про ефективність магнітної обробки.

Досліди виконували у трикратній повторності, а їх відтворюваність визначали за критерієм Кохрена при 5 %-ному рівні значущості.

Дослідження впливу швидкості руху розчину при магнітній обробці на зміну його pH виконувалися із застосуванням методу планування експерименту [2]. За відгук приймали зміну pH розчину при магнітній обробці, за значення факторів – магнітну індукцію (X_1) та швидкість руху розчину (X_2).

Межі зміни магнітної індукції визначали на основі проведених однофакторних експериментів. Значення верхнього, нижнього та

основного рівнів становили для магнітної індукції відповідно 0; 0,65 і 0,13 Тл, для швидкості руху розчину – 0,4; 0,6 і 0,8 м/с.

При дослідженнях використовувався ортогональний центральньо-композиційний план (таблиця).

Матриця планування експерименту при магнітній обробці розчинів солей

Номер точки	Тип точки	X_0	X_1	X_2
1	Ядро плану ПФЕ 2^2	+	-	-
2		+	+	-
3		+	-	+
4		+	+	+
5	Зіркові точки	+	-	0
6		+	+	0
7		+	0	-
8		+	0	+
9	Центр плану	+	0	0

Досліди виконували в рандомізованому порядку в трикратній повторності. У кожному рядку матриці планування визначали дисперсії, а їх однорідність перевіряли за критерієм Кохрена.

Рівняння регресії знаходили у вигляді:

$$\Delta BП = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2. \quad (1)$$

Коефіцієнти у рівнянні регресії та їх значущість визначали за відомою методикою, а адекватність отриманого рівняння регресії оцінювалася за критерієм Фішера [2].

Результати досліджень. При дії магнітного поля на розчини зростає швидкість хімічних реакцій [4]:

$$\omega_m = \omega \exp(\mu(K^2 B^2 + 2KBv_n) N_a / 2RT), \quad (2)$$

де ω – швидкість хімічної реакції без дії магнітного поля, моль/л·с; μ – зведена маса часток, кг; B – магнітна індукція, Тл; v – швидкість руху частки, м/с; K – коефіцієнт, який залежить від концентрації та виду іонів, а також кількості перемагнічувань, м/с·Тл; N_a – число Авогадро, молекул/моль; R – універсальна газова стала, Дж/моль·К; T – температура розчину, К.

Зміна рН визначається виразом:

$$\Delta pH = \lg fC_{H_1^+} - \lg fC_{H_2^+}, \quad (3)$$

де f – коефіцієнт активності; C_H – концентрація іонів водню, моль/л. Вираз (3) можна записати як [5]

$$\Delta pH = \lg \omega_{H_1^+} - \lg \omega_{H_2^+}. \quad (4)$$

Тоді з урахуванням (2)

$$\Delta pH = \frac{2,3\mu N_a K}{RT} \left(\frac{KB^2}{2} + v_n B \right), \quad (5)$$

або

$$\Delta pH = A_1 B^2 + A_2 Bv, \quad (6)$$

де A_1 і A_2 – коефіцієнти.

Експериментальні залежності зміни рН калію фосфорнокислого при магнітній обробці від магнітної індукції при швидкості руху розчину 0,6 м/с показано на рис. 1. При зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл значення рН розчину зростає, а при подальшому збільшенні магнітної індукції починає зменшуватися. При магнітній індукції більшій за 0,15 Тл ефект магнітної обробки неістотний – рН розчину практично залишається незмінним і не перевищує 0,02 одиниць порівняно з необробленою пробєю.

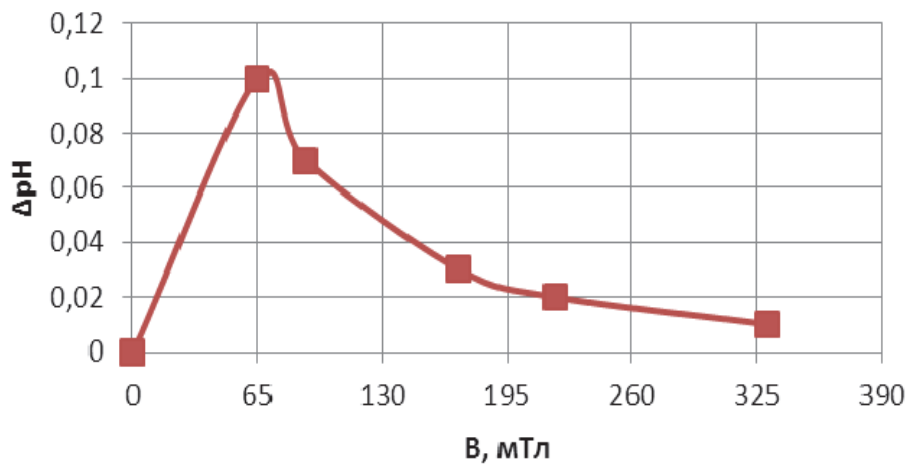


Рис. 1. Залежність зміни рН розчину калію фосфорнокислого від магнітної індукції

За результатами проведеного багатофакторного експерименту були отримані рівняння регресії, які у фізичних величинах мають вигляд:

калій азотнокислий

$$\Delta pH = 3,256B - 0,769Bv - 16,174B^2; \quad (7)$$

кальцій азотнокислий чотириводний

$$\Delta pH = 4,41B - 0,769Bv - 23,669B^2; \quad (8)$$

магній сірчанокислий семиводний

$$\Delta pH = 3,825B - 1,218Bv - 15,516B^2; \quad (9)$$

калій фосфорнокислий

$$\Delta pH = 3,103B - 0,641Bv - 17,88B^2; \quad (10)$$

амоній сірчанокислий

$$\Delta pH = 2,004B - 0,449Bv - 11,966B^2. \quad (11)$$

Залежність зміни рН розчину від магнітної індукції і швидкості руху при магнітній обробці показана на рис.2. Найбільше рН розчинів солей

змінюється при магнітній індукції 0,065 Тл. Зменшення швидкості розчину при магнітній обробці призводить до збільшення його рН.

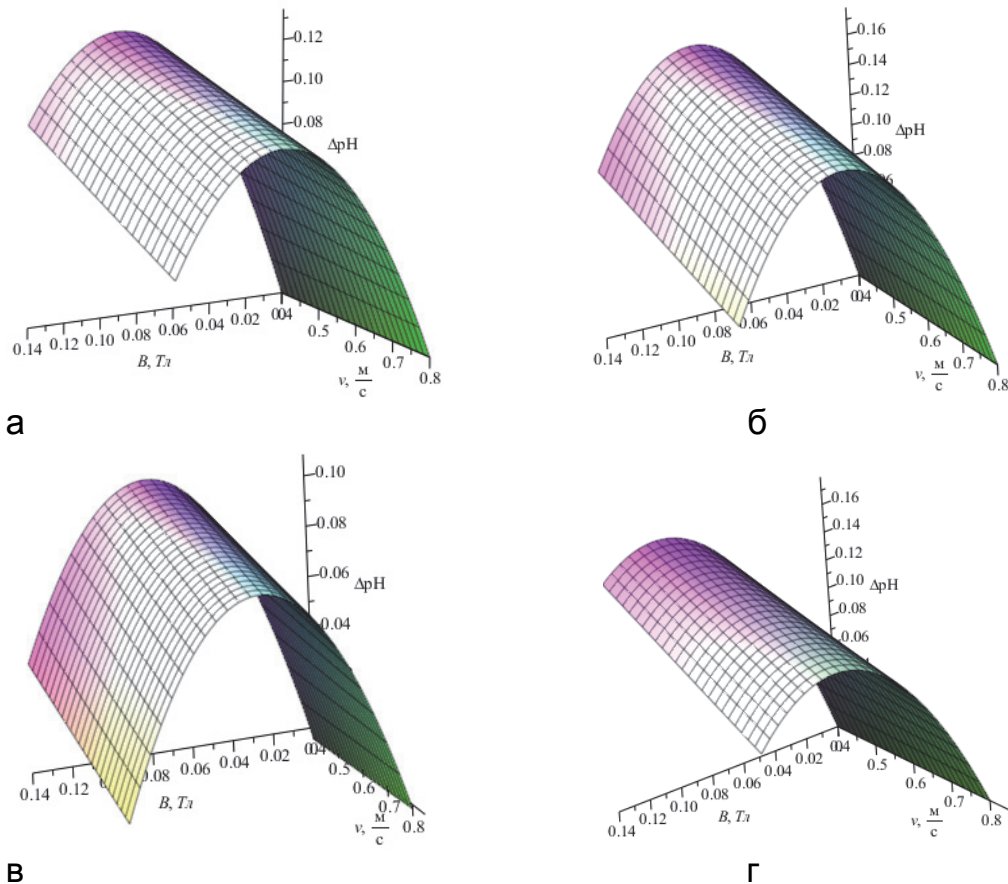


Рис. 2. Залежність зміни рН розчинів солей від магнітної індукції та швидкості руху: а – нітрату калію; б – нітрату кальцію чотириводного; в – калію фосфорнокислого однозаміщеного; г – магнію сірчаноокислого семиводного

Ефект магнітної обробки залежать від хімічного складу розчину, тобто концентрації і композиції іонів. У розчинах, які містять іоні-стабілізатори структури води (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-}), він помітніший, ніж у розчинах з іонами, які “розпушують” біля себе структуру води (K^+ , NO_3^-).

Таким чином, проведені експериментальні дослідження зміни рН розчинів солей при магнітній обробці підтвердили правильність теоретичних залежностей і дали можливість визначити коефіцієнти, які входять у ці залежності.

Висновки. Встановлено, що зміна рН розчинів солей залежить від квадрата магнітної індукції та швидкості руху розчину. Найефективніший режим обробки має місце при магнітній індукції 0,065 Тл.

Список літератури

1.Агрохимия / [Ягодин Б.А., Смирнов П.М., Петербургский А.В. и др.]; под ред. Б.А. Ягодина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 639 с.

2.Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. – М.: Наука, 1976. – 278 с.

3.Классен В.И. Омагничивание водных систем / В.И. Классен. – М.: Химия, 1982. – 296 с.

4.Савченко В.В. Изменение биопотенциала и урожайности сельскохозяйственных культур при предпосевной обработке семян в магнитном поле / В.В. Савченко, А.Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – №2(11). – С. 33–37.

5.Sinyavsky A. Magnetic treatment of potato tubers / A. Sinyavsky, V. Savchenko // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. – Agriculture (Agricultural and Forest Engineering). – Warsaw: 2011. – № 57. – P. 57-64.

Приведены результаты исследований изменения pH водных растворов солей при их обработке в магнитном поле. Установлены зависимости изменения pH растворов от магнитной индукции и скорости их движения. Определены оптимальные параметры обработки

Раствор, магнитная индукция, скорость движения, pH.

The results of change the pH of aqueous solutions of salts during their processing in a magnetic field are shown The dependences of changes in pH solutions on the magnetic induction and speed of the solution are determined. The optimal processing parameters are identified.

A solution, magnetic induction, speed, pH.

УДК 621.47 : 677.057

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА С ТЕКСТИЛЬНЫМ АБСОРБЕРОМ ТРУБЧАТОГО ТИПА

***И.К.ЖМАКИН, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва***

Л.И.ЖМАКИН, доктор технических наук

***К.А.МАРКОВА, кандидат технических наук
Московский государственный университет дизайна
и технологии, г. Москва***

Приведены результаты испытаний солнечного коллектора для нагрева воды с трубчатым абсорбером из рукавной ткани с внутренним полимерным покрытием. Проведены экспериментальные исследования его теплотехнических характеристик, в ходе которых получены опытные данные по коэффициентам потерь тепла и эффективности этого коллектора.

Солнечный коллектор, трубчатый абсорбер, коэффициент потерь тепла, эффективность коллектора.

3.Классен В.И. Омагничивание водных систем / В.И. Классен. – М.: Химия, 1982. – 296 с.

4.Савченко В.В. Изменение биопотенциала и урожайности сельскохозяйственных культур при предпосевной обработке семян в магнитном поле / В.В. Савченко, А.Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – №2(11). – С. 33–37.

5.Sinyavsky A. Magnetic treatment of potato tubers / A. Sinyavsky, V. Savchenko // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. – Agriculture (Agricultural and Forest Engineering). – Warsaw: 2011. – № 57. – P. 57-64.

Приведены результаты исследований изменения pH водных растворов солей при их обработке в магнитном поле. Установлены зависимости изменения pH растворов от магнитной индукции и скорости их движения. Определены оптимальные параметры обработки

Раствор, магнитная индукция, скорость движения, pH.

The results of change the pH of aqueous solutions of salts during their processing in a magnetic field are shown The dependences of changes in pH solutions on the magnetic induction and speed of the solution are determined. The optimal processing parameters are identified.

A solution, magnetic induction, speed, pH.

УДК 621.47 : 677.057

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА С ТЕКСТИЛЬНЫМ АБСОРБЕРОМ ТРУБЧАТОГО ТИПА

***И.К.ЖМАКИН, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва***

Л.И.ЖМАКИН, доктор технических наук

***К.А.МАРКОВА, кандидат технических наук
Московский государственный университет дизайна
и технологии, г. Москва***

Приведены результаты испытаний солнечного коллектора для нагрева воды с трубчатым абсорбером из рукавной ткани с внутренним полимерным покрытием. Проведены экспериментальные исследования его теплотехнических характеристик, в ходе которых получены опытные данные по коэффициентам потерь тепла и эффективности этого коллектора.

Солнечный коллектор, трубчатый абсорбер, коэффициент потерь тепла, эффективность коллектора.

Расширение использования солнечной энергии в автономных системах теплоснабжения предполагает разработку эффективных и недорогих коллекторов с поглощающими панелями (абсорберами) из неметаллических, в том числе текстильных материалов (технических тканей и полимерно-тканевых композиций). Для панелей проточного типа предпочтительны рукавные ткани из полиэфирных нитей, которые характеризуются равенством разрывных прочностей и удлинений по основе и утку, обладают высокой прочностью и стабильностью формы и размеров, могут работать под давлением при температурах до 170 °С.

Нами разработаны опытные образцы коллекторов с солнечными водонагревательными панелями трубчатого типа, в которых использовались полиэфирные рукава с внутренним гидроизоляционным покрытием из натурального латекса (их размеры: диаметр 23 мм, толщина стенки 1 мм, рабочее давление по данным изготовителя – до 1,6 МПа).

Цель исследований – проведение испытаний коллектора с трубчатым абсорбером в лабораторных и натуральных условиях и определение его теплотехнических характеристик.

Материалы и методика исследований. На рис. 1, 2 показаны принципиальные схемы трубчатого абсорбера и крепления текстильных рукавов.

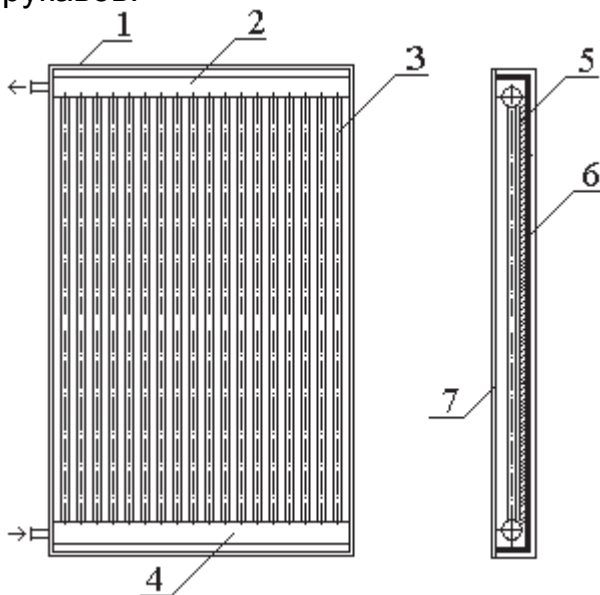


Рис. 1. Схема трубчатого абсорбера:

- 1 – корпус;
- 2, 4 – полипропиленовые трубы;
- 3 – полиэфирный рукав; 5 – слой фольги; 6 – теплоизоляция;
- 7 – прозрачное покрытие

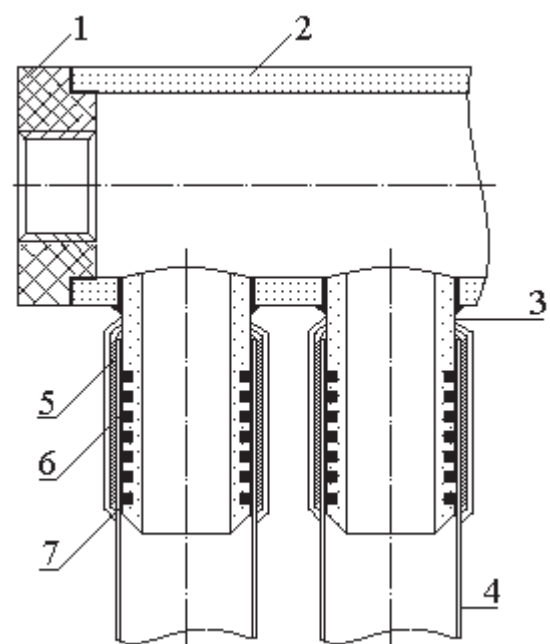


Рис. 2. Схема крепления текстильных рукавов:

- 1 – заглушка; 2 - полипропиленовая труба;
- 3 – штуцер; 4 – полиэфирный рукав; 5 – бандаж; 6 – слой герметика; 7 – термоусадочная трубка

Для распределения теплоносителя по каналам абсорберы имели два гидравлических коллектора из полипропиленовых труб диаметром 42x50 мм и длиной 600 мм, в которые с шагом 30 мм были вварены штуцеры меньшего диаметра. На них с помощью термоусадочных полимерных трубок закреплялись текстильные рукава; на поверхности штуцеров имелись кольцевые проточки, заполненные в момент монтажа герметизирующим составом. Размеры абсорберов – 580x1380 мм, их площадь 0,8 м², удельная масса 2,8 кг/м², собственная емкость 9,6 л; они имели 18 каналов для движения теплоносителя.

После опрессовки водой под давлением 2,5 бар в течение суток абсорбер окрашивался акриловой эмалью чёрного цвета и монтировался в жестком корпусе солнечного коллектора (его размеры 620x1420x75 мм), на днище и боковые поверхности которого был уложен слой тепловой изоляции (вспененный полипропилен толщиной 10 мм). Сверху корпус имел прозрачное покрытие – лист сотового поликарбоната толщиной 4 мм. Его эффективная теплопроводность при комнатной температуре, определенная на приборе ЛКТ-1, составила 0,066 Вт/мК. Спектр пропускания поликарбоната в ультрафиолетовой и видимой областях был исследован с помощью спектрофотометра SPECORD M-40. Поликарбонат непрозрачен для излучения с длинами волн $\lambda < 380$ нм и, тем самым, защищает полиэфирную текстильную панель от повреждения жестким ультрафиолетом. В видимой области его коэффициент пропускания составляет 81,5–82 %, что согласуется с данными [1].

Отказ от традиционных для солнечной энергетики материалов (металла и стекла) позволил существенно снизить удельную массу коллектора (она составляет 6,4 кг/м²) и повысить его ударостойкость при сохранении высоких теплотехнических характеристик, что подтвердили данные лабораторных (на имитаторе солнечной энергии) и натуральных испытаний.

Эти испытания проводились с использованием квазистационарной методики на универсальном теплогидравлическом стенде с замкнутым контуром циркуляции теплоносителя. Стенд был смонтирован на подвижной платформе; на ней одновременно размещались 2 коллектора, каждый из которых мог независимо подключаться к циркуляционному контуру с помощью трехходовых кранов. Автоматизированная система записи и обработки опытных данных, подключенная к персональному компьютеру, позволяла с заданной периодичностью регистрировать и архивировать результаты измерений температур, расходов воды и интенсивностей лучистых потоков. На стенде определяли мгновенные КПД коллекторов

$$\eta = gc_p(t'' - t')/E, \quad (1)$$

которые аппроксимировали уравнениями Уиллера и Уиллера-Хоттеля-Блисса:

$$\eta = F_R \eta_0 - F_R U_L \frac{t' - t_0}{E} = A_1 - B_1 \cdot t_1^* ; \quad (2)$$

$$\eta = F'\eta_0 - F'U_L \frac{0,5(t' + t'') - t_0}{E} = A_2 - B_2 \cdot t_2^*, \quad (3)$$

где F_R и F' – коэффициент отвода тепла из коллектора и эффективность поглощающей панели (абсорбера); U_L – полный коэффициент потерь; E – плотность лучистого потока, Вт/м²; $g=G/F_K$ – удельный расход теплоносителя (G – расход, F_K – площадь панели), кг/с·м²; c_p – теплоемкость воды, Дж/кг·К; t и t' – ее температуры на входе и на выходе, °С; t_0 – температура окружающей среды, °С; $\eta_0 = \tau\alpha$ – оптический КПД (произведение коэффициента пропускания покрытия и коэффициента поглощения панели), а t^* – приведенная температура.

Уравнения (2) и (3) устанавливают линейную связь между КПД и приведенной температурой при условии, что коэффициент потерь – постоянная величина. В соответствии с действующими стандартами комплексы $A_1 = F_R\eta_0$; $A_2 = F'\eta_0$ и $B_1 = F_RU_L$; $B_2 = F'U_L$ являются основными параметрами теплотехнического совершенства солнечных коллекторов [4].

Результаты исследований. Регрессионные уравнения для мгновенных КПД коллекторов с трубчатыми текстильными абсорберами, полученные при обработке результатов испытаний, приведены в таблице. Инструментальная погрешность определения КПД не превышала 12 %, но разброс опытных точек приводил к дополнительным ошибкам аппроксимации, составлявшим 5–7 %.

Уравнения регрессии для КПД коллекторов с трубчатыми абсорберами

Лабораторные испытания	Натурные испытания
$\eta = 0,71 - 5,26t_1^*$	$\eta = 0,69 - 8,17t_1^*$
$\eta = 0,73 - 4,79t_2^*$	$\eta = 0,71 - 7,42t_2^*$

Для коллекторов с трубчатыми абсорберами были проведены и независимые измерения коэффициентов тепловых потерь с использованием метода регулярного режима охлаждения [2]. Они проводились при остывании коллекторов с отключенной циркуляцией жидкости; в опытах фиксировались температуры воды в панелях в различные моменты времени. Из уравнения дифференциального теплового баланса коллектора можно получить следующее выражение для полного коэффициента потерь:

$$U_L = mc_p M_{ж} / F_K, \quad (4)$$

в котором $M_{ж}$ – масса воды в панели, кг, а m – темп ее охлаждения, определяемый при обработке соответствующих термограмм. Среднее значение коэффициента потерь для коллекторов с трубчатыми абсорберами в лабораторных условиях составило 5,70 Вт/м²·град.

В текстильных рукавах абсорберов был экспериментально установлен эффект интенсификации теплоотдачи при омывании жидкостью поверхности ткани. Средние коэффициенты конвективной теплоотдачи в полиэфирных рукавах с латексным покрытием были определены косвенно с помощью модифицированного метода Вильсона. При ламинарном течении воды их значения в 2,1 – 2,3 раза превышали соответствующие величины для гладких труб [3]. Это обусловлено дискретной шероховатостью текстильной теплообменной поверхности, проявляющей себя двояко. С одной стороны поверхность ткани становится более развитой по сравнению с гладкой стенкой (эффект ребрения), а с другой – за каждым элементом выступа возможно возникновение вихрей, нарушающих ламинарную структуру пограничного слоя.

Наряду с экспериментами, нами был определен ряд характеристик трубчатых текстильных абсорберов методами математического моделирования. Так, например, были рассчитаны распределения расходов жидкости в каналах абсорбера и дополнительные радиационные потоки за счет переизлучения подложки на стенки каналов.

Ясно, что неравномерность расходов теплоносителя (гидравлическая разверка) неизбежно приводит к тепловой разверке абсорбера, а последняя, в свою очередь, вызывает снижение эффективности коллектора. Были сопоставлены две схемы подачи жидкости в каналы: U – схема, когда вход и выход воды осуществляется с одной стороны панели (см. рис. 1), и Z – схема с патрубками, расположенными по обе стороны абсорбера. Расчеты проводились для общих расходов воды, изменяющихся в диапазоне 30...80 л/ч. Оказалось, что U – схема предпочтительнее: в ней коэффициенты неравномерности расходов воды в каналах изменялись в пределах 1,47...1,89 против 1,55...6,90 для Z – схемы.

Конструкция трубчатого абсорбера такова, что при относительно малых углах падения солнечных лучей часть радиационного потока через зазоры между трубами попадает на подложку, покрывающую днище корпуса коллектора. В свою очередь, эта подложка будет излучать энергию на абсорбер. Обусловленный этим явлением дополнительный тепловой поток зависит от шага труб в абсорбере и от угла падения лучей. Методами геометрической оптики были проведены расчеты переизлучения для двух типов подложек - абсолютно черной, излучающей в соответствии с законом Ламберта, и зеркально отражающей. Оптимальный шаг текстильных каналов в трубчатом абсорбере оказался равным $(2...2,5) \cdot R$, где R – радиус канала, м.

Выводы. Исследованы теплотехнические характеристики солнечных коллекторов с текстильными трубчатыми абсорберами в лабораторных и натуральных условиях. Для них определены приведенные значения оптического КПД и коэффициента потерь. Экспериментально установлен эффект интенсификации теплоотдачи при омывании жидкостью внутренней поверхности текстильных каналов.

Проведены модельные расчеты, позволившие оптимизировать шаг каналов в трубчатых абсорберах и схему подачи в них теплоносителя.

Расчет технико-экономических показателей данных коллекторов показал, что они окупаются за два сезона эксплуатации.

Список литературы

1 Опыт разработки солнечного коллектора из теплостойких пластмасс / О.С.Попель, И.В. Прокопченко, А.В. Мордынский и др. // Теплоэнергетика. – 2008. – №12. – С. 6–8.

2. Теория тепломассообмена / [под ред. Леонтьева А.И.]. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1997. – 683 с.

3. Характеристики рекуперативного теплообменника с текстильной теплопередающей поверхностью / Л.И.Жмакин, И.В.Козырев, К.А.Кирокосян, М.В.Черных // Химические волокна. – 2010. – №6. – С. 50–53.

4. J.A.Duffie, W.A.Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes. 2 Ed.. J.Wiley & Sons, USA, 1991. – 919 p.

Наведено результати випробувань сонячного колектора для нагрівання води з трубчастим абсорбером із рукавної тканини з внутрішнім полімерним покриттям. Проведено експериментальні дослідження його теплотехнічних характеристик, у ході яких отримано дослідні дані за коефіцієнтами втрат тепла та ефективності цього колектора.

Сонячний колектор, трубчастий абсорбер, коефіцієнт втрат тепла, ефективність колектора.

The results of testing of solar water heating collector with tube-type absorber produced from waterproof tube textiles with polymer coating were described. The experimental studies were made to determine the parameters of collector's thermal performance. The test data were obtained concerning the overall energy loss coefficient and the efficiency of the collector.

Solar collector, tube-type absorber, heat loss coefficient, collector's efficiency

**ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ ПРИ
ПОПЕРЕЧНОМУ ОБТІКАННІ КОМПАКТНИХ ПУЧКІВ ТРУБ У
КОЖУХОТРУБНИХ ТЕПЛООБМІННИКАХ**

***В.Г. ГОРОБЕЦЬ, доктор технічних наук
В. І. ТРОХАНЯК, аспірант****

Використовуючи пакет прикладних програм ANSYS Fluent, проведено моделювання процесів тепло- і масопереносу в каналах кожухотрубного теплообмінника з компактним розміщенням пучків труб. Отримано поля швидкостей, температур і тисків у каналі теплообмінника та проаналізовано умови гідродинамічної течії в каналах та процесів переносу теплоти в цих каналах. Запропоновано та розроблено нову конструкцію кожухотрубного теплообмінного апарата з компактним розташуванням труб у трубних пучках.

Теплообмінник, пучок труб, математичне моделювання, міжтрубні канали, масогабаритні показники.

Пучки гладких циліндричних труб із шаховим та коридорним розташуванням широко використовуються в різних теплообмінних апаратах і пристроях енергетичних установок. Огляд літературних джерел та результатів значної кількості експериментальних досліджень тепло-гідродинамічних характеристик пучків гладких труб при поперечному їх обтіканні [1], у тому числі досліджень з тепловіддачі шахових пучків при числах Рейнольдса $10^3 \leq Re \leq 2 \cdot 10^5$ показує, що такі пучки мають вищу тепловіддачу порівняно з коридорними пучками. Однак при цьому вони мають більш високий гідравлічний опір порівняно з коридорними пучками.

Слід зазначити, що поверхні такого типу, які використовуються в кожухотрубних теплообмінниках, призводять до зростання їх маси та габаритів. Одним із шляхів покращення цих характеристик є застосування ребрення та інтенсифікаторів теплообміну на конвективних поверхнях. Разом із тим, використання ребрених поверхонь та інтенсифікаторів суттєво підвищує гідравлічний опір у трактах теплообмінника та вимагає для прокачування теплоносіїв використання насосів і вентиляторів більшої потужності. Перспективним напрямом зниження гідравлічного опору та інтенсифікації теплообміну на конвективних поверхнях теплообмінників є застосування гладких трубних пучків із компактною конфігурацією.

Тому, розробка нових конструкцій кожухотрубних теплообмінників з компактними трубними пучками є актуальною і потребує свого вирішення.

Мета досліджень, – розробка нових конструкцій кожухотрубних теплообмінників із компактним розміщенням пучків гладких труб при

**Науковий керівник – доктор технічних наук, доцент В.Г. Горобець
© В.Г. ГОРОБЕЦЬ, В. І. ТРОХАНЯК, 2015*

поперечному їх обтіканні теплоносіями та чисельне моделювання процесів тепло- і масопереносу в каналах теплообмінника.

Матеріали та методика досліджень. Розглянемо кожухотрубний теплообмінник із кожухом прямокутного перерізу, в якому розміщено пучки труб компактної конфігурації при поперечному їх обтіканні (рис. 1). У теплообмінному апараті застосовано таке розташування труб, при якому сусідні трубки дотикаються між собою та зміщені одна відносно одної по осі ординат на відстань K , де $0 < K < \sqrt{3}D/2$, а відстань C відповідає умові $C \geq D + 5\text{мм}$, що обумовлено тим, що технологія виготовлення пучків значно ускладнюється при відстанях між трубами менше 5 мм.

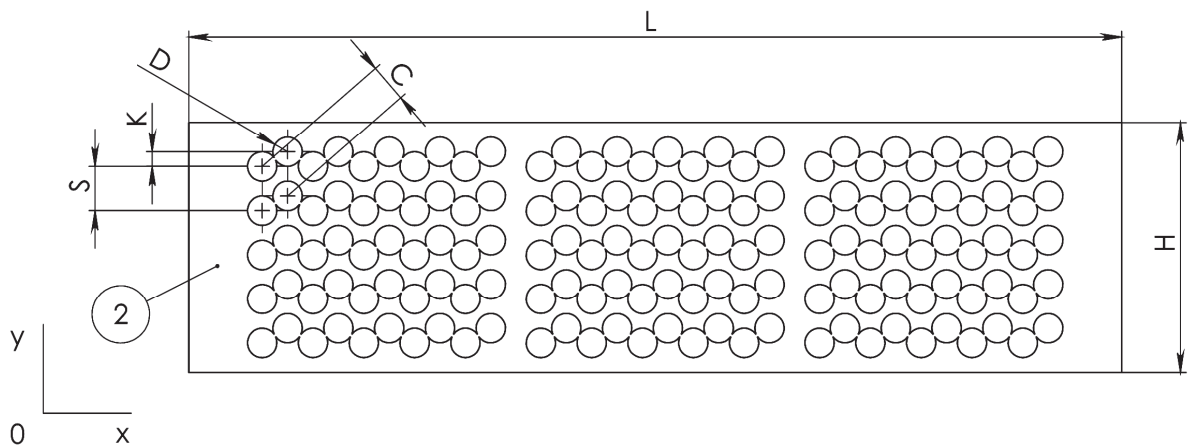


Рис. 1. Трубна дошка з компакним розташуванням трубок (вигляд зверху)

Загальний вигляд запропонованого теплообмінного апарата схематично зображено на рис. 2.

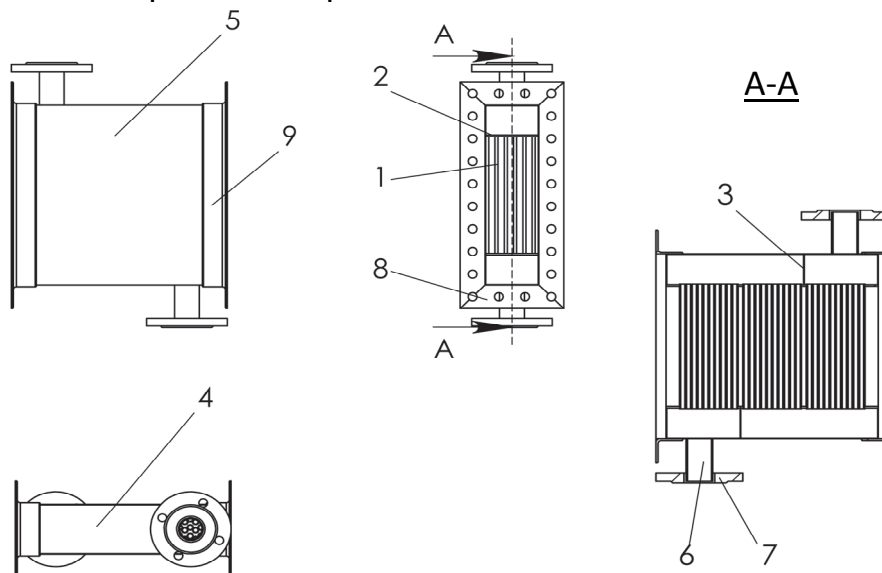


Рис. 2. Загальний вигляд кожухотрубного теплообмінника

Трубки в пучку 1 дотикаються між собою та зміщені по осі ординат на відстань $D/2$, утворюючи криволінійний канал. Теплообмінний апарат

складається з бокових 5 та верхніх стінок 4 із закріпленими в ньому трубними дошками 2 (див. рис. 1), між якими встановлено вертикальний пучок трубок 1. Кожен ряд трубок у пучку 1 має технологічний зазор, що ділить ряд на три частини, оскільки теплообмінний апарат триходовий по охолоджувальній рідині і має перегородку 3 у верхньому та нижньому колекторі. Підведення та відведення охолоджуючої рідини здійснюється через фланець 7 та трубку 6 (див. рис. 2). Корпус являє собою суцільну жорстку констр.-укц. та з торців закритий кутниками 8 та 9.

Моделювання процесів тепло- і масопереносу в каналах теплообмінника. Проведено чисельне моделювання процесів тепло- і масопереносу в каналах теплообмінника компактної конфігурації, використовуючи пакет прикладних програм САПР ANSYS Fluent.

В основі математичної моделі лежать рівняння Нав'є-Стокса [2] та рівняння конвективного переносу енергії. У розглянутому випадку вибрано стандартну k-ε модель турбулентності (KES) [3–5].

Рівняння Нав'є-Стокса, які описують масоперенос у каналах теплообмінника, мають вигляд:

рівняння руху:

$$\left. \begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right); \\ \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right); \\ \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right); \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де ρ – густина середовища, кг/м³; μ – динамічна в'язкість середовища, Па·с;

p – тиск, Па; u, v, w – векторне поле швидкості; t – час, с;

рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0; \quad (2)$$

рівняння збереження енергії:

$$\rho C_p \left(V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} + V_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (3)$$

де T – температура в деякій точці, К⁰; λ – коефіцієнт теплопровідності середовища, Вт/м·К⁰; C_p – питома теплоємність середовища, Дж/кг·К⁰.

Задаємо граничні умови (див. рис. 1.):

на вході:

$$x = 0; W = W_0; T = T_0; \quad (4)$$

на виході:

$$x = H; \partial W / \partial x = 0; \quad (5)$$

на стінці труби:

$$T(x = x_{тр.зн.})(y = y_{тр.зн.}) = T_{ст.,0}; \quad (6)$$

на стінці кожуха:

$$\left. \frac{\partial T_{ст.кор.}}{\partial y} \right|_{y=0} = 0; \quad (7)$$

умови прилипання на стінці труби:

$$x = x_{тр.зов.}; y = y_{тр.зв.}; \quad (8)$$

умови прилипання на стінці кожуха:

$$y = H; W = 0; y = 0. \quad (9)$$

Для стандартної $k - \varepsilon$ моделі турбулентності рівняння мають такий вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (10)$$

і

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + G_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + G_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (11)$$

де G_k – генерація турбулентності кінетичної енергії за рахунок градієнтів швидкості; G_b – генерація турбулентності кінетичної енергії за рахунок плавучості; Y_M – вклад у розширення коливань стисливості турбулентності в загальній швидкості дисипації; $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ і $C_{3\varepsilon}$ – константи; σ_k і σ_ε – турбулентні числа Прантля для k і ε відповідно.

Масова витрата повітря на вході в теплообмінний апарат становить 1000 кг/год з початковою температурою $T_0=40$ °С. Висота труб – 200 мм, їх зовнішній діаметр 10 мм, а температура трубного пучка 10 °С. Ширина міжтрубного каналу для цієї конфігурації пучка 5 мм.

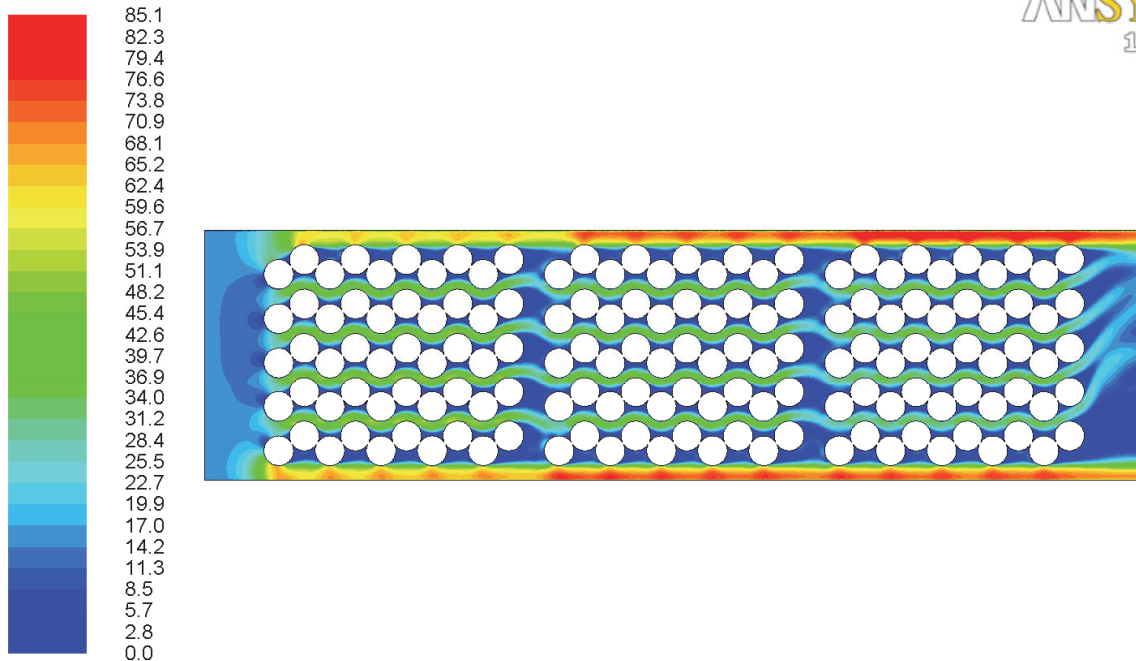
Результати досліджень. Результати чисельних розрахунків подано на рисунках 3–6. На рис. 3 наведено поле швидкостей у каналах теплообмінника. Аналіз отриманого поля швидкостей показує, що максимальні значення швидкості потоку спостерігаються біля бокових стінок теплообмінника, причому їх значення в два рази перевищують швидкість в міжтрубних каналах. В окремих точках каналу швидкість повітря досягає 85 м/с, а середня швидкість повітря у найвужчому поперечному перерізі каналу становить близько 45 м/с (рис. 4). На ділянках каналу, що розділяє три секції трубного пучка, мають місце застійні зони за останньою трубою кожного пучка. Крім того, такі зони спостерігаються на ділянках криволінійного каналу для окремих елементів трубного пучка.

На рис. 4 також показано розподіл векторів швидкості в окремому елементі пучка труб. У верхній точці труби відбувається відрив межевого шару, а на стику сусідніх труб є застійні зони. В цих зонах спостерігаються два відривних вихори, в яких швидкість потоку суттєво менша, ніж в основному потоці.

На рис. 5 наведено розподіл температурного поля в каналах теплообмінника. Як видно з рисунка температура теплоносія падає при наближенні до виходу з теплообмінника. Якщо на вході в теплообмінник

вона становила 40 °С, то на виході її усереднене значення 22 °С. Разом із тим поблизу стінок каналу локальні значення температури становлять близько 30 °С.

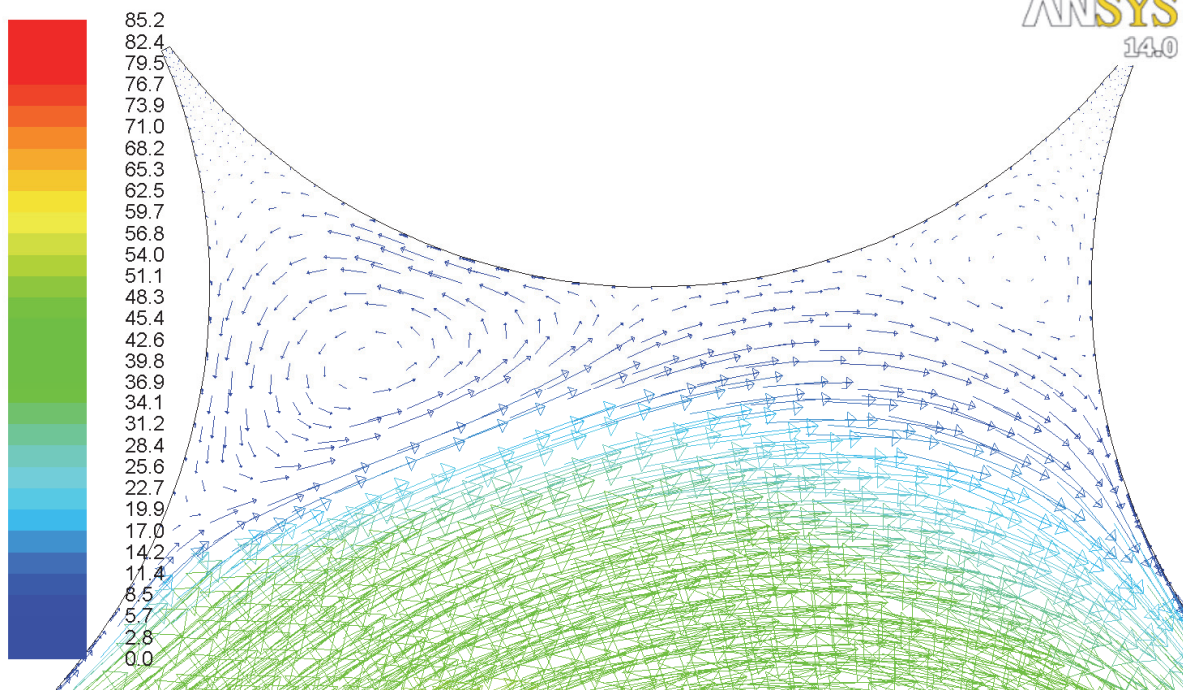
ANSYS
14.0



Contours of Velocity Magnitude (m/s)

Feb 24, 2015
ANSYS FLUENT 14.0 (2d, pbns, ske)

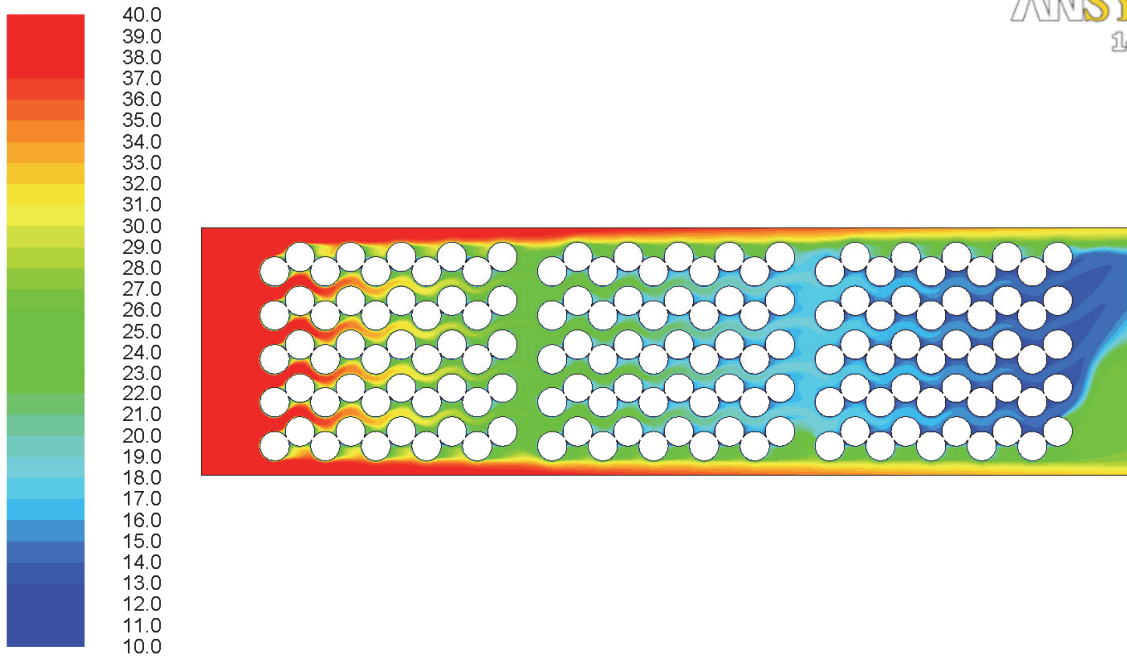
Рис. 3. Швидкість повітря в каналі, м/с



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

Feb 24, 2015
ANSYS FLUENT 14.0 (2d, pbns, ske)

Рис. 4. Вектор швидкості в каналі, м/с

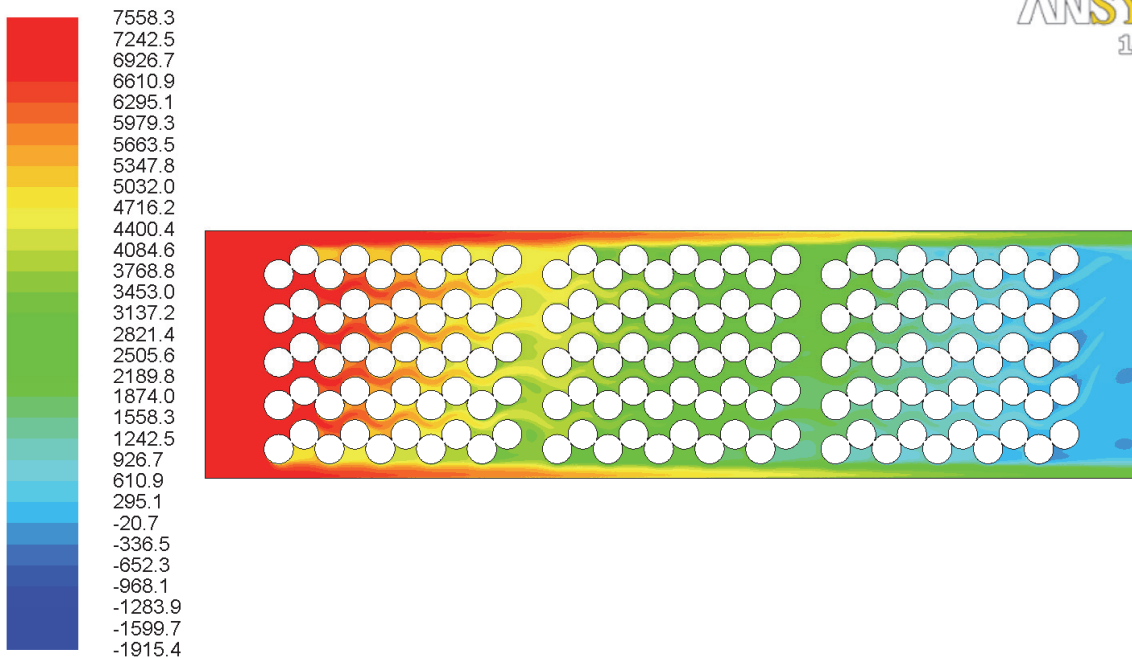


Contours of Total Temperature (c)

Feb 24, 2015
ANSYS FLUENT 14.0 (2d, pbns, ske)

Рис. 5. Зміна температури в каналі, °C

На рис. 6 наведено розподіл поля тиску в каналах досліджуваної конструкції теплообмінника. З отриманих розподілів тиску витікає, що загальне падіння тиску становить близько 7000 Па.



Contours of Total Pressure (pascal)

Feb 24, 2015
ANSYS FLUENT 14.0 (2d, pbns, ske)

Рис. 6. Перепад тиску в каналі, Па

Комп'ютерне моделювання дає можливість проаналізувати умови гідродинамічної течії і теплопереносу в досліджуваних каналах. Як витікає з аналізу поля швидкостей, температур та тисків, необхідно зменшувати ширину каналу між стінкою і трубним рядом, що знаходиться поблизу стінки. Це дасть можливість зменшити швидкість потоку і температуру в пристінному каналі та підвищити швидкість в основних каналах теплообмінника.

Після порівняння масогабаритних показників запропонованої конструкції із кожухотрубним теплообмінним апаратом при шаховому або коридорному розташуванні труб маємо зменшення габаритів та маси до 60 % при однаковій тепловій потужності.

Висновки.

1. Запропоновано та розроблено нову конструкцію кожухотрубного теплообмінного апарата з компактним розташуванням труб у трубних пучках.

2. Проведено комп'ютерне математичне моделювання процесів тепло- і масопереносу в каналах теплообмінника при компактному розміщенні труб із використанням програмного комплексу ANSYS Fluent 14.0. Отримано поля швидкостей, температур, тисків у досліджуваних каналах.

3. Проаналізовано умови гідродинамічної течії в каналах та процесів переносу теплоти в цих каналах. Запропоновано шляхи вдосконалення конструкції кожухотрубного теплообмінного апарата.

4. Проведено порівняльний аналіз масогабаритних характеристик відомих конструкцій теплообмінників із запропонованою конструкцією та знайдено зменшення масогабаритних показників на 60% при однаковій тепловій потужності.

Список літератури

1. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках / А.А. Жукаускас. – М.: Наука, 1982. – 472 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 712 с.
3. Bardina J.E. Turbulence Modeling Validation, Testing and Development / Bardina J.E., Huang P.G., Coakley T.J., // California, NASA reports. – April, 1997. – 88 p.
4. Hanjalic, K. Advanced Turbulence Closure Models: A View on the Current Status and Future Prospects, Int. J. Heat & Fluid Flow. – 1994. – Vol. 15. – P. 178–203.
5. Speziale C.G. Modeling of Turbulent Transport Equations, in T. Gatski, M. Hussaini and J. Lumley, eds., Simulation and Modeling of Turbulent Flows, Oxford University Press, 1996.

Используя пакет прикладных программ ANSYS Fluent, проведено моделирование процессов тепло- и массопереноса в каналах кожухотрубного теплообменника с компактным размещением пучков труб. Получены поля скоростей, температур и давлений в канале теплообменника и проанализированы условия гидродинамического течения в каналах и процессов переноса теплоты в этих каналах. Предложена и разработана новая конструкция кожухотрубного теплообменного аппарата с компактным расположением труб в трубных пучках.

Теплообменник, пучок труб, математическое моделирование, межтрубные каналы, массогабаритные показатели.

Using the software package ANSYS Fluent simulations of processes of heat and mass transfer in channels with a compact tube heat exchanger tube bundles placement. The fields of velocity, temperature and pressure in the heat exchanger channel and analyzed in terms of hydrodynamic flow channels and heat transfer processes in these channels. Proposed and developed a new design of shell and tube heat exchanger with a compact arrangement of tubes in tube bundles.

Heat exchanger, tube bundle, mathematical modeling, shell side channels, mass and size parameters.

УДК 644 112

КРИТЕРИИ ОТБОРА ИСТОЧНИКОВ ГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ МИКРОСЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

**В.В. ХАРЧЕНКО, доктор технических наук
В.А. ГУСАРОВ, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского
хозяйства», г. Москва**

Предложена концепция микросети на основе преимущественного использования возобновляемых источников энергии, представляющая собой новую форму реализации идеологии распределенной энергетики. Это впервые открывает возможность эффективного применения возобновляемых источников энергии для решения задачи энергоснабжения удаленных, в первую очередь, сельских территорий, малоэтажного строительства и автономного энергоснабжения отдельно располагаемых единичных объектов. Впервые микросеть на основе возобновляемых источников энергии выделена в самостоятельную группу среди микросетей, реализуемых на практике.

Микросеть, генерация, возобновляемые источники энергии.

Одной из стратегических задач сельской энергетики сегодня является снижение энергоемкости сельхозпроизводства на основе широкого использования новых прогрессивных технологий выработки и потребления энергетических ресурсов. Перспективным путем решения проблемы является расширение масштабов использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В этой ситуации актуальным становится организация автономного энергоснабжения. Однако основные источники возобновляемой энергии – солнце и ветер – непостоянны в своем проявлении и имеют непрогнозируемые перерывы в поступлении энергии. Это требует создания мощных аккумулирующих систем и

© В.В. ХАРЧЕНКО, В.А. ГУСАРОВ, 2015

Теплообменник, пучок труб, математическое моделирование, межтрубные каналы, массогабаритные показатели.

Using the software package ANSYS Fluent simulations of processes of heat and mass transfer in channels with a compact tube heat exchanger tube bundles placement. The fields of velocity, temperature and pressure in the heat exchanger channel and analyzed in terms of hydrodynamic flow channels and heat transfer processes in these channels. Proposed and developed a new design of shell and tube heat exchanger with a compact arrangement of tubes in tube bundles.

Heat exchanger, tube bundle, mathematical modeling, shell side channels, mass and size parameters.

УДК 644 112

КРИТЕРИИ ОТБОРА ИСТОЧНИКОВ ГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ МИКРОСЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

**В.В. ХАРЧЕНКО, доктор технических наук
В.А. ГУСАРОВ, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского
хозяйства», г. Москва**

Предложена концепция микросети на основе преимущественного использования возобновляемых источников энергии, представляющая собой новую форму реализации идеологии распределенной энергетики. Это впервые открывает возможность эффективного применения возобновляемых источников энергии для решения задачи энергоснабжения удаленных, в первую очередь, сельских территорий, малоэтажного строительства и автономного энергоснабжения отдельно располагаемых единичных объектов. Впервые микросеть на основе возобновляемых источников энергии выделена в самостоятельную группу среди микросетей, реализуемых на практике.

Микросеть, генерация, возобновляемые источники энергии.

Одной из стратегических задач сельской энергетики сегодня является снижение энергоемкости сельхозпроизводства на основе широкого использования новых прогрессивных технологий выработки и потребления энергетических ресурсов. Перспективным путем решения проблемы является расширение масштабов использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В этой ситуации актуальным становится организация автономного энергоснабжения. Однако основные источники возобновляемой энергии – солнце и ветер – непостоянны в своем проявлении и имеют непрогнозируемые перерывы в поступлении энергии. Это требует создания мощных аккумулирующих систем и

© В.В. ХАРЧЕНКО, В.А. ГУСАРОВ, 2015

создания резервных источников энергоснабжения, что существенно удорожает создаваемые системы. Кроме того, трудно ожидать, что на одном объекте потенциал всех видов ВИЭ будет одинаково высок, поэтому важной задачей представляется поиск оптимальной структуры и состава генерирующей группы конкретной микросети.

Создание научно-методической базы для организации на практике микросетевых систем энергоснабжения представляется одним из способов содействия внедрению нового инновационного подхода организации теплоснабжения. Микросеть – это интегрированная энергетическая система небольшой мощности с распределёнными по всей сети генераторами и потребителями энергии [1].

Оптимальный выбор источников генерации для заданной микросети является залогом успешного ее функционирования в дальнейшем. В концепции энергоснабжения с помощью микросетей проблема решается следующим образом: электрической энергией потребители обеспечиваются подключением к микросети, а надёжность их электроснабжения обеспечивается надёжностью функционирования источников генерации и микросети в целом [2]. Проблема теплоснабжения на каждом объекте может решаться по-разному, в зависимости от имеющихся на этом объекте возможностей. Для этих целей могут использоваться самые разные технологии: от прямого сжигания до теплонасосных установок различного типа, использующие разнообразные источники низкопотенциальной теплоты.

Цель исследований – разработка критериев отбора источников генерации для микросетей на основе возобновляемых источников энергии.

Материалы и методика исследований. Исходя из опыта практического проектирования и строительства микросетей, можно выделить три типа энергетических микросетей. Сеть первого типа снабжает энергией одно здание, обеспечивая его независимость от централизованной сети переменного тока, или повышает эффективность электроснабжения путём снижения тарифа на централизованную энергию за счёт параллельного использования возобновляемой энергии и накопителей энергии. Сеть второго типа – кампусные сети, обеспечивающие энергией комплекс зданий на определенной территории. На этой территории создается внутренняя сеть распределения и внутренние источники энергии с накопителями энергии. Кампусная сеть, как и сеть первого типа, может работать как параллельно, так и независимо от централизованной энергосети". Сеть третьего типа это совокупность взаимно подключенных микросетей. Выше перечисленные сети могут действовать совершенно независимо, и только в экстренных случаях подключаться к внешним сетям [3].

Как показывает мировой опыт, в последние годы установленная мощность микросетей во всем мире неуклонно возрастает. Рост тарифов на электроэнергию вынуждает потребителей объединяться в микросети, что подтверждается прогнозом роста установленной мощности микросетей во всем мире (рис.1).

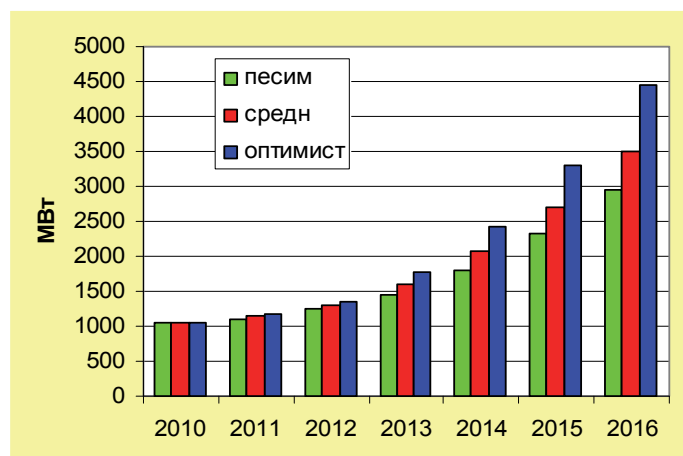


Рис.1. Прогноз развития микросетей до 2016 г. (источник: Pikeresearch)

Микросети подразделяются на автономные и подключенные к центральным сетям. Автономные классифицируются по видам генерации.

Автономная сеть с одним генератором, работающим на традиционных источниках энергии, т.е. распределённая сеть с дизельным или бензиновым генератором, газотурбинной установкой и др. представлена на рис. 2.

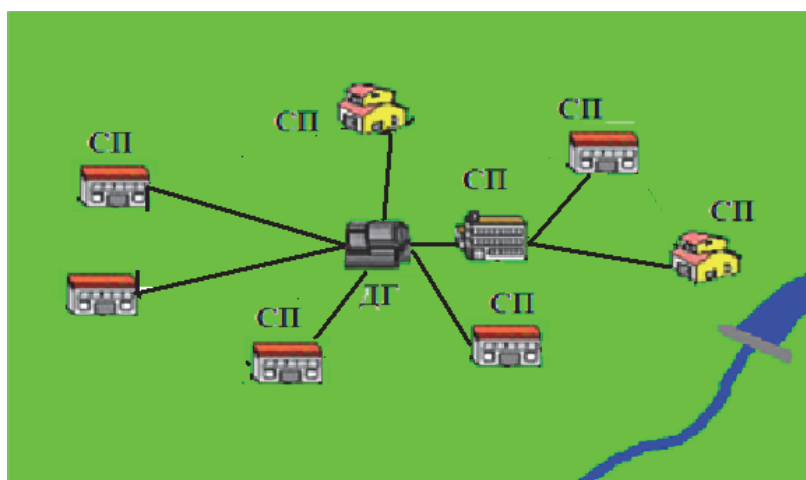


Рис.2. Автономная микросеть с одним источником генерации: ДГ – дизель-генератор; СП – сельские потребители

Современная автономная сеть с одним источником генерации представляет собою энергетический центр, имеющий электрогенератор, воздушные или кабельные линии электропередачи, трансформаторные подстанции, распределительные узлы и приборы учёта, посредством которых вырабатывается, передаётся на реализацию потребителям и учитывается электроэнергия. Эта сеть охватывает определённый территориальный район с одним или несколькими населёнными пунктами. Мощность сети разнообразная, от нескольких сотен киловатт до десятков мегаватт, напряжение – до 35 кВ, протяжённость – до десятков километров.

Результаты исследований. Анализ существующих автономных систем электроснабжения показал, что организация бесперебойного энергоснабжения объектов сельскохозяйственного назначения на удаленных территориях сопряжена с большими трудностями, обусловленными значительными затратами на строительство распределительных сетей низкого напряжения и обеспечения их безаварийной работы.

Созданная по такому же принципу микросеть, охватывает территорию значительно меньших размеров. Связано это с тем, что длина кабельных или воздушных линий ограничивается падением напряжения в этих линиях, а так как напряжение в микросети составляет 380 В, то максимально возможный радиус охвата территории не превышает 2 км, что соответствует охватываемой территории площадью 12,0–12,5 км². Наибольшей трудностью в эксплуатации микросети с одним источником генерации представляет то, что, работая в круглосуточном режиме, дизель-генератор мог бы вырабатывать электроэнергию значительно больше её потребления, ограниченного графиком нагрузки. Из-за этого эффективность микросети снижается, а себестоимость электроэнергии возрастает. Для повышения эффективности системы необходимо создать условия, при которых необходимое потребителю количество электроэнергии производилось бы с минимально возможным превышением по объёму производства и минимальной себестоимостью. Это возможно в том случае, если в сети будет установлен накопитель энергии. Существует два варианта: установить один общий накопитель, работающий на всю сеть, или установить накопитель каждому потребителю. В любом случае накопители будут круглосуточно обеспечивать потребителя электроэнергией, даже в моменты отключения дизельного генератора. Расчёт баланса электроэнергии в микросети с одним источником генерации необходимо сделать, чтобы потребности в электроэнергии были полностью удовлетворены. Расчёт выполняется по формуле:

$$W_B = W_{\Pi} + W_H + W_{\text{пот.}}, \quad (1)$$

где W_B – среднесуточная выработка электроэнергии, кВт·ч/сут; W_{Π} – среднесуточное потребление электроэнергии, кВт·ч/сут; W_H – максимальное среднесуточное накопление электроэнергии, кВт·ч/сут; $W_{\text{пот}}$ – среднесуточные потери электроэнергии в сетях и оборудовании, кВт·ч/сут.

Оптимальная схема микросети с одним источником генерации приведена на рис. .3.

В настоящее время наиболее эффективные энергетические установки автономного энергоснабжения создаются преимущественно на базе традиционных дизельных генераторов и солнечных батарей в качестве возобновляемого источника генерации. Такой выбор не случаен. В последние годы замечен рост цен на органическое топливо, что обуславливает рост себестоимости электроэнергии, производимой дизельными генераторами. С другой стороны, в это же время стоимость солнечных модулей существенно снизилась, что сделало фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии вполне конкурентоспособным с традиционными системами выработки

электроэнергии. Уже сегодня по себестоимости производимой электроэнергии фотоэлектрические станции превосходят дизель-генераторные установки. Поэтому их замена в тех случаях, когда это возможно, представляется достаточно экономически эффективным шагом.

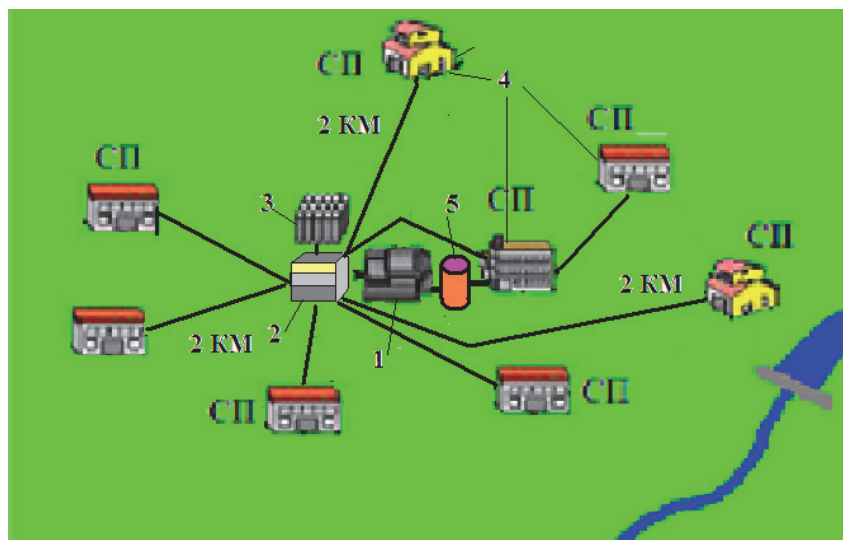


Рис.3. Оптимальная схема автономной микросети с одним источником генерации:

1 – дизель-генератор; 2 – инвертор; 3 – аккумуляторная станция; 4 – сельские потребители; 5 – утилизатор тепловой энергии

На рис. 4 приведена схема предприятия, энергообеспечение которого основано на использовании дизель-генераторных систем.

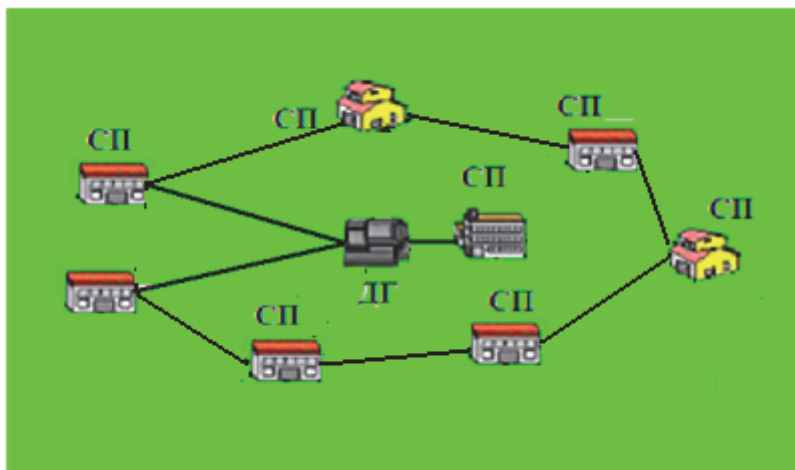


Рис.4. Предприятие с энергоснабжением от дизель-генератора

Наличие свободной площадки у подобного предприятия позволяет установить солнечную станцию небольшой мощности, которая в связи с высоким потенциалом солнечной энергии на данном объекте обещает быть эффективной, что означает создание микросети с двумя источниками генерации и одним потребителем (рис.5).

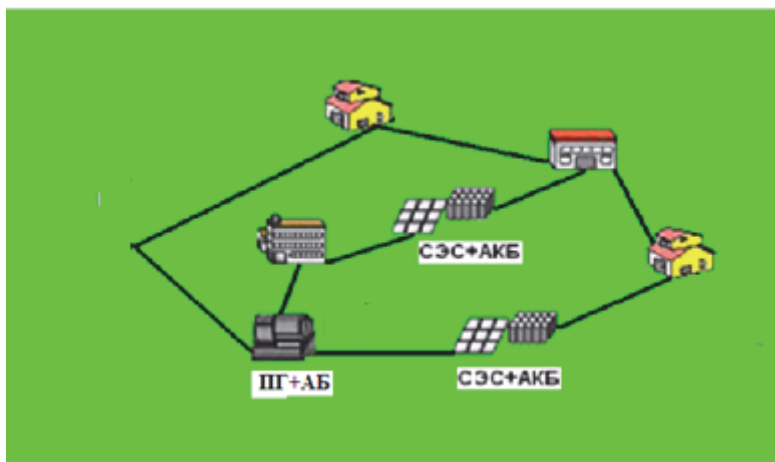


Рис.5. Предприятие с энергоснабжением от генератора и фотоэлектрических модулей

Добавляя в состав микросети дополнительные источники генерации, можно максимально заместить энергию, вырабатываемую традиционными способами, на энергию от ВИЭ. Но при этом никогда потребляемая и вырабатываемая генераторами возобновляемой энергетики энергия не будут строго соответствовать друг другу. Мощность генерации может либо превышать потребление, либо неполностью покрывать потребность. В первом случае возникнет проблема поиска применения излишка вырабатываемой энергии (либо непосредственно в процессе выработки, либо аккумулируя энергию при ее избытке и поставляя потребителю в заданное время). Во втором случае дополнительный источник регулируемой мощности должен непрерывно покрывать возникающий дефицит. Возможен промежуточный вариант, когда периоды дефицита энергии у потребителя (по сравнению с выработкой ВИЭ генератора) чередуются с периодами, когда генераторы вырабатывают избыточный объем энергии.

Правильный выбор сочетания мощностей ВИЭ и традиционных ресурсов представляется важной задачей и может определяться специальными критериями, учитывающими ряд факторов, рассматриваемых далее.

На рис. 6 показана возможная схема микросети с несколькими источниками генерации на основе ВИЭ.

Пример комбинированной микросети приведен на рис. 7. Для расчёта энергетического баланса микросети с традиционными и возобновляемыми источниками энергии необходимо учитывать нестабильность поступления возобновляемой энергии в течении года, поэтому в расчёте применяется метод раздельного участия, заключающийся в том, что предполагается возможность ситуации, когда длительное время не будет поступления возобновляемой энергии, или длительной аварийной ситуации с дизельным или бензиновым генератором [4].

Кардинальным образом в положительную сторону меняется ситуация, когда в микросети в качестве генераторов включены предсказуемые источники энергии, такие как микроГЭС, биогазовая установка, парогенераторная установка и подобные источники возобновляемой энергии.

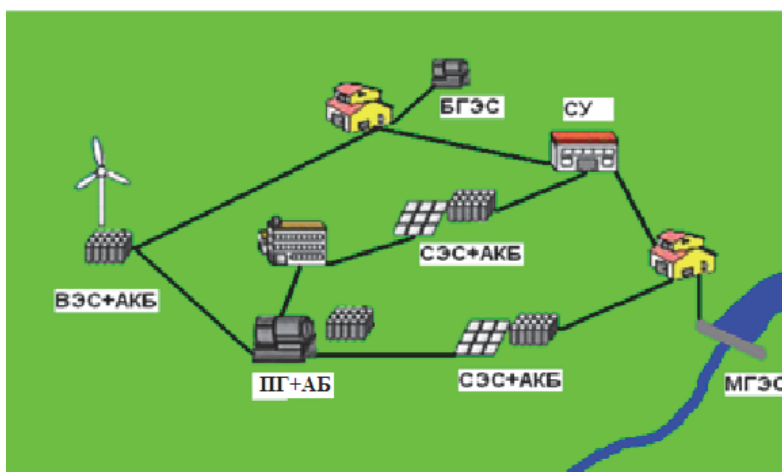


Рис.6. Автономная микросеть с генераторами от ВИЭ:
 ПГ – древесный паровой генератор; АКБ – аккумуляторная батарея; ВЭС – ветряная электростанция; СЭС – солнечная электростанция; МГЭС – малая гидроэлектростанция (микрогидроэлектростанция); БГЭС – биогазовая электростанция; СУ – система управления

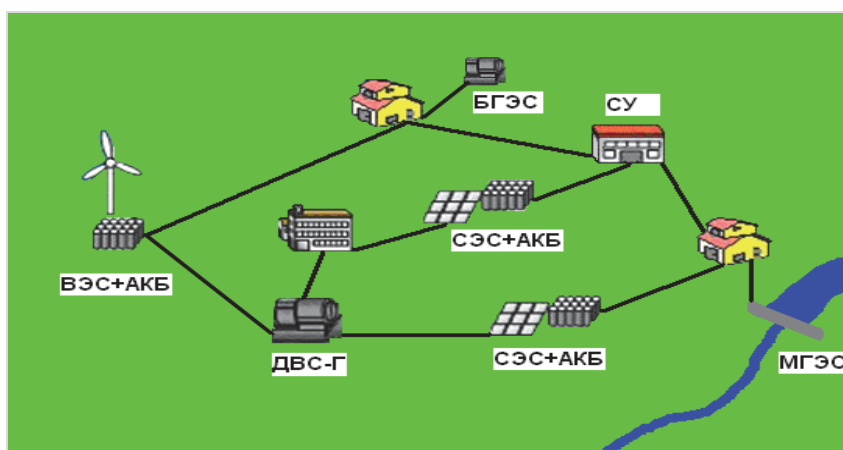


Рис.7. Автономная комбинированная микросеть с генераторами, работающими как на традиционных источниках энергии, так и на возобновляемых:

ДВС-Г – двигатель внутреннего сгорания – генератор; АКБ – аккумуляторная батарея; ВЭС – ветряная электростанция; СЭС – солнечная электростанция; МГЭС – малая гидроэлектростанция (микрогидроэлектростанция); БГЭС – биогазовая электростанция; СУ – система управления

Уравнение энергетического баланса можно представить равенством:

$$\frac{(W_{ВЭС} + W_{СЭС}) + W_{ЖТН}}{2} - W_{ПОТ} = W_{П}, \quad (2)$$

где $W_{ВЭС}$ – среднесуточная выработка электроэнергии ВЭС, кВт·ч/сут; $W_{СЭС}$ – среднесуточная выработка электроэнергии СЭС, кВт·ч/сут; $W_{ЖТН}$ – необходимая среднесуточная выработка электроэнергии жидко-топливной электростанцией, кВт·ч/сут; $W_{ПОТ}$ – среднесуточные потери электроэнергии

при её преобразовании и накоплении в АБ (учитываются при расчёте каждого из источников энергии в отдельности), кВт·ч/сут; W_P – среднесуточная потребность в электроэнергии, кВт·ч/сут.

Следовательно, суточная производительность резервного источника равна:

$$W_{ЖТ}^H = 2(W_{ВЭС} + W_{СЭС}) - (W_{II} + W_{IIOT}) \quad (3)$$

при условии, что аккумуляторная станция способна нести номинальную нагрузку системы в течение $T_P \geq 1$ сут.

Таким образом, определён критерий для отбора источников с генераторами, работающими на традиционных и возобновляемых источниках энергии, в составе микросети с традиционными и возобновляемыми источниками. Организация надежного энергоснабжения в децентрализованных районах России возможна только на основе комплексного использования традиционных и возобновляемых источников энергии. Метод эффективной генерации в распределённой энергетике предполагает, что преимущественное право на производство энергии сохраняется за возобновляемыми источниками. Невозобновляемые источники являются резервными источниками. Микросеть должна иметь систему управления, которая будет координировать подключение соответствующих генераторов в зависимости от уровня прихода возобновляемой энергии, степени зарядки аккумуляторной станции и действующей нагрузки.

Выводы. Предложенная и развитая концепция микросети на основе преимущественного использования возобновляемых источников энергии, представляющая собой новую форму реализации идеологии распределенной энергетике, открывает возможность эффективного применения возобновляемых источников энергии для решения задачи энергоснабжения удаленных, в первую очередь, сельских территорий, малоэтажного строительства и автономного энергоснабжения отдельно располагаемых единичных объектов. Микросеть на основе возобновляемых источников энергии рассмотрена как самостоятельная группа среди микросетей, реализуемых на практике. Кратко рассмотрены масштабы развития микросетей в мире. На основе анализа функционирования микросетей различной конфигурации рассмотрена важнейшая задача формирования оптимального состава и структуры создаваемых микросетей путем оптимизации выбора по разработанным критериям источников генерации для включения в их состав. Рассмотрена возможность использования в микросети и традиционных центров генерации электроэнергии.

Список литературы

1. Харченко В.В. Микросеть на основе ВИЭ как инструмент концепции распределенной энергетике / В. В. Харченко, В. Б. Адомавичюс, В. А. Гусаров //Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 02 (119). – С. 80–85.
2. Харченко В.В. Развитие распределенной энергетике как формы микросетей в России / В.В. Харченко, В.А. Гусаров // Тр. 9-й Междунар. науч.-техн. конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве», 21 - 22 мая 2014 г., г. Москва. Ч.4. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2014.

3. Smart Microgrids – «умные энергетические микросети [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cisco.com/web/RU/news/releases/txt/2013/09/090213c.html>

4. Адомавичус В.Б., Харченко В.В., Гусаров В.А., Валицкас И.Ю. Источники регулируемой мощности в микросетях / В.Б. Адомавичус, В.В. Харченко, В.А. Гусаров, И.Ю. Валицкас // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – Вып.7. – С. 54–59.

Запропоновано концепцію мікромережі на основі переважного використання поновлюваних джерел енергії, що є новою формою реалізації ідеології розподіленої енергетики. Це вперше відкриває можливість ефективного застосування відновлюваних джерел енергії для вирішення завдання енергопостачання віддалених, в першу чергу, сільських територій, малоповерхового будівництва та автономного енергопостачання окремо розташованих одиничних об'єктів. Вперше мікромережа на основі відновлюваних джерел енергії виділена в самостійну групу серед мікромереж, що реалізуються на практиці.

Мікромережа, генерація, поновлювані джерела енергії.

The concept of microgrids on the basis of pre-emptive use of renewable energy, which is a new form of realization of the ideology of distributed power for the first time opens up the possibility of effective use of renewable energy sources to solve the problem of remote power supply, primarily in rural areas, low-rise construction and independent power supply separately disposable single objects. Micronet first time on the basis of renewable energy sources into separate group among microgrids implemented in practice.

Micronet, generation, renewable energy.

УДК 621.577.4

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ ОТБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ ОТКРЫТЫХ ВОДОТОКОВ В ЦЕЛЯХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

В.В. ХАРЧЕНКО, доктор технических наук

А.О. СЫЧЁВ, аспирант*

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва

Рассмотрен вопрос теплоснабжения малоэтажных зданий с помощью теплонасосной системы на основе использования низкопотенциальной теплоты небольших водотоков. Приведён пример конструкции погружного теплообменника вода-рассол, спроектированного для работы в составе подобных систем.

**Научный руководитель – доктор технических наук, профессор В.В. Харченко
© В.В. ХАРЧЕНКО, А.О. СЫЧЁВ, 2015*

3. Smart Microgrids – «умные энергетические микросети [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cisco.com/web/RU/news/releases/txt/2013/09/090213c.html>

4. Адомавичус В.Б., Харченко В.В., Гусаров В.А., Валицкас И.Ю. Источники регулируемой мощности в микросетях / В.Б. Адомавичус, В.В. Харченко, В.А. Гусаров, И.Ю. Валицкас // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – Вып.7. – С. 54–59.

Запропоновано концепцію мікромережі на основі переважного використання поновлюваних джерел енергії, що є новою формою реалізації ідеології розподіленої енергетики. Це вперше відкриває можливість ефективного застосування відновлюваних джерел енергії для вирішення завдання енергопостачання віддалених, в першу чергу, сільських територій, малоповерхового будівництва та автономного енергопостачання окремо розташованих одиничних об'єктів. Вперше мікромережа на основі відновлюваних джерел енергії виділена в самостійну групу серед мікромереж, що реалізуються на практиці.

Мікромережа, генерація, поновлювані джерела енергії.

The concept of microgrids on the basis of pre-emptive use of renewable energy, which is a new form of realization of the ideology of distributed power for the first time opens up the possibility of effective use of renewable energy sources to solve the problem of remote power supply, primarily in rural areas, low-rise construction and independent power supply separately disposable single objects. Micronet first time on the basis of renewable energy sources into separate group among microgrids implemented in practice.

Micronet, generation, renewable energy.

УДК 621.577.4

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ ОТБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ ОТКРЫТЫХ ВОДОТОКОВ В ЦЕЛЯХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

В.В. ХАРЧЕНКО, доктор технических наук

А.О. СЫЧЁВ, аспирант*

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва

Рассмотрен вопрос теплоснабжения малоэтажных зданий с помощью теплонасосной системы на основе использования низкопотенциальной теплоты небольших водотоков. Приведён пример конструкции погружного теплообменника вода-рассол, спроектированного для работы в составе подобных систем.

**Научный руководитель – доктор технических наук, профессор В.В. Харченко
© В.В. ХАРЧЕНКО, А.О. СЫЧЁВ, 2015*

Тепловой насос, низкопотенциальная теплота, водоток, погружной теплообменник вода-рассол.

Доля тепловой энергии в энергетическом балансе сельскохозяйственного производства обычно превышает 60%. Теплоснабжение является кроме того и важнейшим фактором для нового жилищного строительства и улучшения социально-бытовых условий жителей удаленных районов. Причем, если поставку электроэнергии можно обеспечить по имеющимся или вновь создаваемым сетям, то тепловую энергию (горячая вода) на значительные расстояния транспортировать не представляется возможным, т.е. ее надо производить на месте. Зачастую уголь или дрова отсутствуют, использование электроэнергии для целей отопления или получения горячей воды слишком дорого. В результате развитие производства, в основном малого и среднего бизнеса, сдерживается, социально-бытовые условия населения во многих случаях отстают от современных стандартов.

В таких условиях представляется весьма целесообразным использовать зарубежный опыт организации теплоснабжения с использованием теплонасосных установок (ТНУ), которые отличаются высокой энергоэффективностью.

В таких системах на 1 кВт·ч затраченной электрической энергии можно получать 3–6 кВт·ч тепловой энергии. По своей экономической эффективности такие системы уступают только системам отопления на основе природного газа и далеко превышают эффективность систем теплоснабжения, основанных на использовании электроэнергии, мазута, дизельного топлива и угля [3]. Поэтому они широко применяются для теплоснабжения автономных, удаленных объектов.

Цель исследований – обоснование возможности теплоснабжения малоэтажных зданий с помощью теплонасосной системы на основе использования низкопотенциальной теплоты небольших водотоков.

Материалы и методика исследований. Наиболее распространёнными, простыми и дешёвыми в монтаже являются воздушные теплонасосные установки, в которых для выработки высокопотенциальной теплоты, пригодной для целей отопления и горячего водоснабжения зданий, используется низкопотенциальная теплота, отобранная от наружного воздуха [1]. К сожалению, такие установки становятся малоэффективными при снижении температуры окружающего воздуха ниже $-5..-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и потому не могут выступать надёжными источниками тепла для регионов, характеризующихся низкими пиковыми температурами в холодное время.

Сегодня большое распространение получили теплонасосные установки с грунтовыми теплообменниками, в которых теплота приповерхностных (а иногда и более глубоких) слоев Земли используется для выработки горячей воды с заданными параметрами, которая затем используется как для отопления, так и для горячего водоснабжения. Для отбора низкопотенциальной теплоты от грунта в

таких установках применяются вертикальные или горизонтальные грунтовые теплообменники-коллекторы (рис.1).

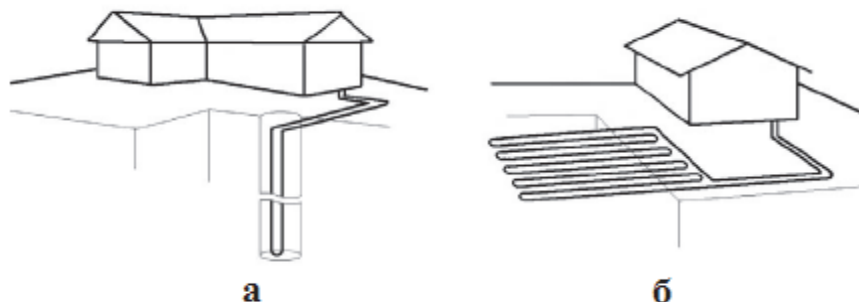


Рис. 1. Теплонасосные системы теплоснабжения с вертикальным (а) и горизонтальным (б) теплообменником-коллектором

В Швеции почти 90 % новых зданий отапливается с помощью тепла, которое извлекается из пробуренных у дома скважин. В Германии в 2005 году застройщики подали около 12 тыс. заявок на геотермальные установки, год спустя количество заявок на бурение составило уже 28,5 тыс. и продолжает расти (данные Федерального союза геотермии Германии).

Недостатком геотермальных теплонасосных систем является их высокая стоимость, обусловленная необходимостью монтажа дорогостоящих систем отбора подземной теплоты, что связано с большим объемом земляных (бурильных) работ.

Более перспективными представляются теплонаносные системы теплоснабжения, основанные на использовании тепла поверхностных водных сред и, в частности, малых водотоков, таких как каналы и небольшие реки.

Недостаточное распространение таких систем по сравнению с системами с грунтовыми теплообменниками объясняется тем, что их внедрение требует наличия водотоков как источников низкопотенциальной теплоты. Стоит отметить, что в качестве таких водотоков могут также выступать каналы мелиоративных систем, которые часто образуют развитые сети на территориях орошаемого земледелия.

Системы с использованием теплоты водотоков по своей эффективности не уступают вышеописанным ТНУ с грунтовыми теплообменниками, и даже превосходят последние, при несравненно более низких капитальных затратах.

Технологии использования низкопотенциальной теплоты поверхностных вод отработана далеко не в такой степени, как технология использования геотермальной теплоты. В России такие системы, несмотря на их простоту, распространения не получили, а исследования в данном направлении развиты слабо.

Схема с непосредственным забором воды из водоёмов и водотоков с последующим её охлаждением в испарителе теплового насоса и сбросом обратно в водоём или водоток, хотя и представляется наиболее

очевидным решением, но обладает существенными недостатками, прежде всего высокой вероятностью замерзания и засорения системы, поэтому не пригодна в большинстве случаев.

Известна схема отбора теплоты от поверхностного водоёма или водотока, при которой на дно водоёма или водотока погружается сложенная петлями труба большой длины, как правило полиэтиленовая, скреплённая различными способами и снабжённая дополнительными грузами для удержания на дне. Через трубу посредством циркуляционного насоса прокачивается нагреваемый теплоноситель. Однако подобные технические решения, хотя и просты в реализации, но демонстрируют недостаточно высокую эффективность, и зачастую оказываются совершенно непригодными для размещения в малых водотоках. Основным недостатком описанной схемы в целом является низкая интенсивность теплообмена между водной средой и трубой, что влечёт за собой следующие последствия:

- повышенную материалоемкость из-за необходимости использования трубы большой длины и, в ряде случаев, изготовления для неё рамы большого размера или нескольких рам, а также значительный объём теплоносителя, необходимого для заполнения трубы;

- необходимость наличия достаточного по размеру, доступного для размещения конструкции участка водотока;

- повышенные затраты энергии на прокачку теплоносителя вследствие значительной длины трубы;

- увеличенное расхождение между температурой теплоносителя на выходе из трубы и средней температурой водотока, что особенно проявляется при наличии на дне слоя илистых отложений, ограничивающих конвективный теплообмен и увеличивающих градиент температуры между трубой, погруженной в эти отложения, и основной массой воды в верхней части водоёма.

Последний показатель имеет большое значение, так как максимальное приближение температуры теплоносителя к температуре источника низкопотенциальной теплоты позволяет добиться наивысших показателей производительности и эффективности теплового насоса.

Из перечисленных недостатков описанной выше схемы также наиболее существенным является необходимость использования значительного количества теплоносителя-антифриза, требуемый объём которого измеряется в сотнях и тысячах литров. В качестве теплоносителя в настоящее время используют водный раствор либо этиленгликоля, либо пропиленгликоля. При этом этиленгликоль является токсичным веществом и представляет опасность для человека и окружающей среды, а также характеризуется достаточно высокой вязкостью и коррозионной активностью, а пропиленгликоль, хотя и является безопасным, но обладает чрезмерно высокой вязкостью при низких температурах и характеризуется высокой стоимостью, что делает его использование в контуре отбора низкопотенциальной теплоты крайне невыгодным. Так, стоимость

теплоносителя на основе пропиленгликоля, необходимого для заполнения приведённых выше конструкций из полиэтиленовых труб, существенно превышает стоимость самих полиэтиленовых труб и прочих составляющих. Таким образом, использование применяемых сегодня теплоносителей существенно увеличивает стоимость системы и, вследствие высокой вязкости, существенно снижает эффективность её работы.

Результаты исследований. Проведённые нами исследования позволили сделать вывод, что наиболее перспективным представляется использование в качестве теплоносителя раствора хлорида кальция, который характеризуется малой вязкостью, низкой стоимостью и экологической безопасностью [2].

Увеличение эффективности отбора теплоты от водотока возможно достичь за счёт использования естественного движения воды в направлении течения для интенсификации теплообмена. Нами был сделан вывод, что альтернативой применяемым в настоящее время способам отбора теплоты от водотока могут стать погружные металлические теплообменники вода-рассол нескольких конструкций, среди которых наиболее очевидными являются конструкции в виде плоского змеевика из металлических труб круглого сечения или в виде многорядной трубной решётки (рис. 2).

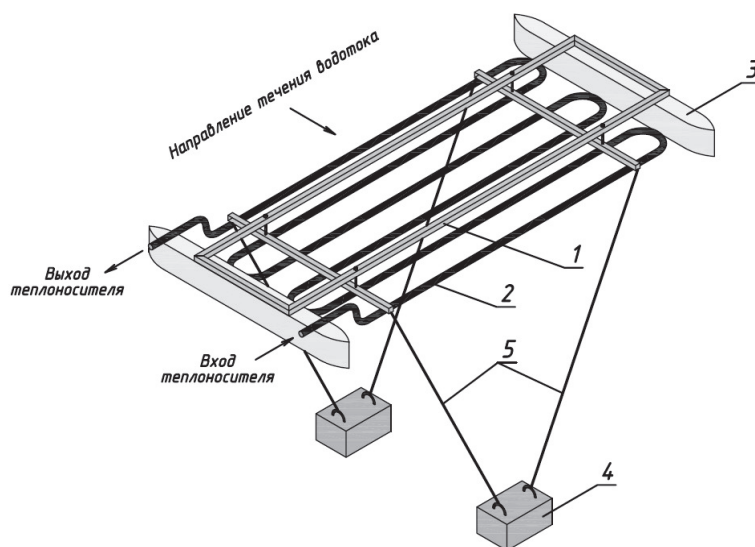


Рис. 2. Принципиальная схема плавучего теплообменника для небольшого водотока:

1 –рама; 2 – трубы; 3 – поплавки; 4 – грузы-якоря; 5 – тросы

Улучшение параметров теплообмена достигается за счёт использования естественного движения воды в направлении течения для интенсификации теплообмена. Известно, что скорость течения воды в открытом русле принимает наибольшие значения вблизи поверхности, а в случае наличия ледяного покрова зона наибольшей скорости течения смещается вглубь, ближе к середине потока. Для обеспечения возможности расположения теплообменника в зоне наибольшей скорости течения он

снабжён поплавками, придающими ему плавучесть, а также тросами и грузами-якорями, благодаря чему теплообменник можно расположить и удерживать в зоне наилучшего теплообмена (рис. 3,4). Улучшение теплообменных характеристик также происходит за счёт того, что при такой конструкции и расположении теплообменника в русле обеспечивается поперечное обтекание потоком воды прямых участков трубы змеевика, что интенсифицирует процесс теплопередачи.

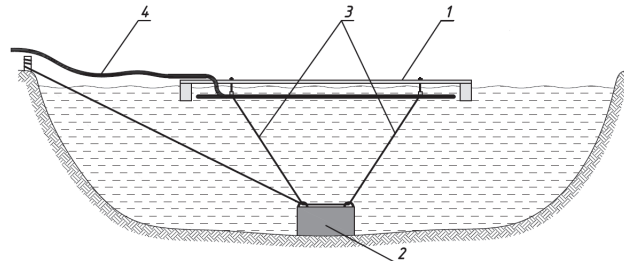


Рис. 3. Расположение плавучего теплообменника в русле водотока:
1 – теплообменник; 2 – грузы-якоря; 3 – тросы; 4 – гибкие подводки

При использовании устройства в условиях замерзающего водотока на период наличия ледяного покрова его целесообразно подтягивать тросами ближе ко дну (см. рис. 4, б,г), а в остальное время удерживать у поверхности водотока (см. рис. 4, а,в). Таким образом змеевик будет находиться в зонах наибольшей скорости течения и не окажется вмёрзшим в лёд. При этом даже существенное уменьшение уровня воды в русле не приведёт к осушению трубы змеевика, так как устройство начнёт опускаться вслед за уровнем воды.

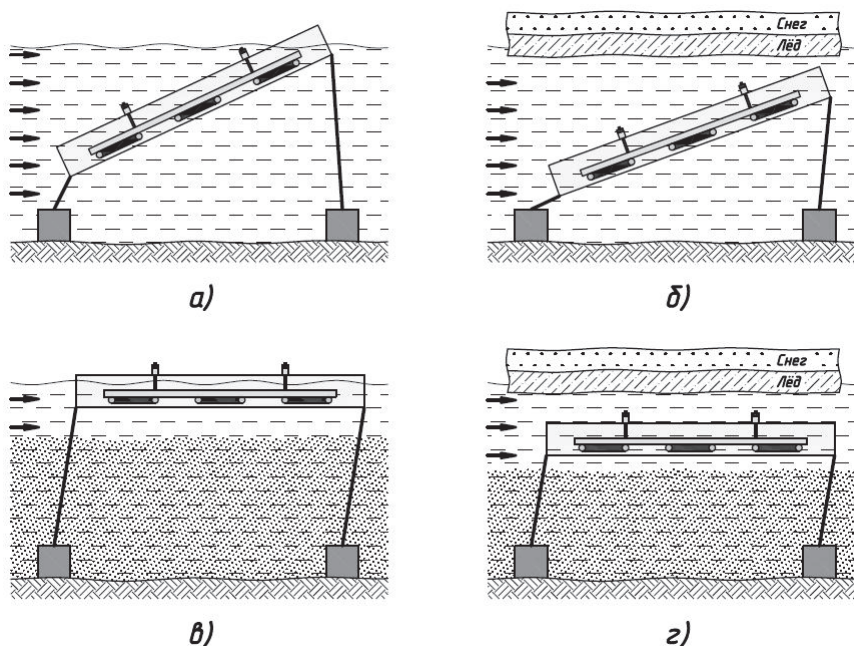


Рис. 4. Примеры расположения теплообменника в русле в зависимости от условий:

а – чистое русло; б – наличие ледяного покрова; в – заиленное русло;
г – наличие донного ила и ледяного покрова

Для испытания описанного метода отбора теплоты от водотока, а также для проверки других технических решений, направленных на повышение технико-экономических характеристик теплонасосных установок, была собрана экспериментальная установка, которая представляет собой теплонасосную систему отопления и кондиционирования жилого дома типа вода-воздух теплопроизводительностью до 7 кВт (рис. 5), в состав которой входит теплообменник вода-рассол описанной конструкции (рис. 6).

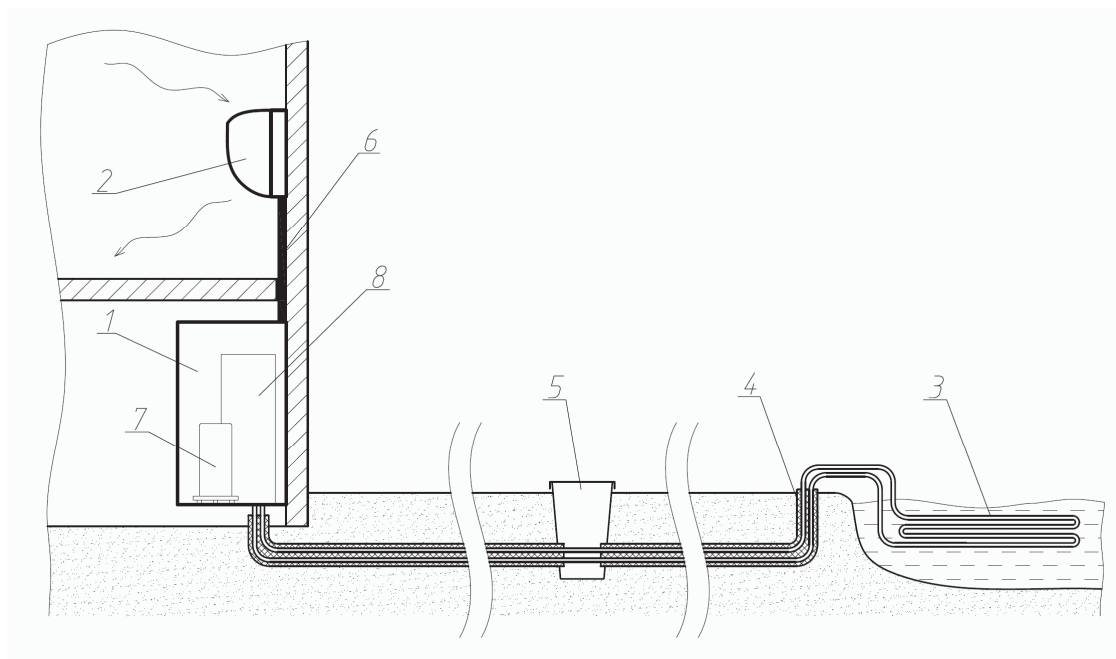


Рис. 5. Принципиальная схема экспериментальной установки:
 1 – внешний блок ТН; 2 – внутренний блок ТН; 3 – теплообменник вода-рассол; 4 – утеплённый подземный трубопровод;
 5 – инспекционный колодец, точка подключения дополнительных источников НПТ; 6 – фреоновод; 7 – компрессор ТН;
 8 – теплообменник рассол-фреон



Рис. 6. Экспериментальный образец плавучего теплообменника

Выводы. Первые испытания показали высокую эффективность такой системы. Внедрение в практику этого и других решений, способных снизить стоимость теплонасосных установок и срок их окупаемости, поспособствовало бы более широкому распространению подобных систем.

Список литературы

1. Автономные системы теплоснабжения на основе тепловых насосов воздух-вода / В.А. Гусаров, В.В. Харченко, А.О. Сычёв [и др.] // Энергетика и автоматика. – 2013. – № 3. – С. 67–71.

2. Харченко В. В. Оптимизация низкотемпературного контура теплонасосной установки на основе теплоты поверхностных вод / В.В. Харченко, А.О. Сычёв // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 7. – С. 31–36.

3. Chemekov V. V. The heat supply system for a self-contained dwelling house on the basis of a heat pump and wind power installation / V. V. Chemekov, V. V. Kharchenko // Thermal Engineering. – 2013. – Т. 60, № 3. – С. 212–216.

Розглянуто питання теплопостачання малоповерхових будівель за допомогою теплонасосної системи на основі використання низькопотенційної теплоти невеликих водотоків. Наведено приклад конструкції заглибного теплообмінника вода-розсіл, зпроектованого для роботи у складі подібних систем.

Тепловий насос, низькопотенційна теплота, водотік, заглибний теплообмінник вода-розсіл.

Questions of the organization of a heat supply of low-storeyed buildings with the help of heat pump systems functioning on the basis of low potential heat of small watercourses are considered. The example of a design of the submersible water-brine heat exchanger designed for work as a part of similar systems is given.

Water-source heat pump, low-grade heat, watercourse, submersible water-brine heat exchanger.

УДК 62.644.1

ТЕМПЕРАТУРА РОСЛИНИ ЯК ПАРАМЕТР ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ

**В.П. ЛИСЕНКО, доктор технічних наук
В.М. МІРОШНИК, І.М. БОЛБОТ, кандидати технічних наук
Т.І. ЛЕНДЄЛ, аспірант***

Показано, що при вирощуванні овочевої продукції поряд з тепловими характеристиками навколишнього середовища важливою є інформація про температуру рослин. Проаналізовано залежності температури рослин від освітленості в теплиці.

Фітостан, температурний режим, теплиця, мікроклімат.

*Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.П. Лисенко
© В.П. ЛИСЕНКО, В.М. МІРОШНИК, І.М. БОЛБОТ, Т.І. ЛЕНДЄЛ

Выводы. Первые испытания показали высокую эффективность такой системы. Внедрение в практику этого и других решений, способных снизить стоимость теплонасосных установок и срок их окупаемости, поспособствовало бы более широкому распространению подобных систем.

Список литературы

1. Автономные системы теплоснабжения на основе тепловых насосов воздух-вода / В.А. Гусаров, В.В. Харченко, А.О. Сычёв [и др.] // Энергетика и автоматика. – 2013. – № 3. – С. 67–71.

2. Харченко В. В. Оптимизация низкотемпературного контура теплонасосной установки на основе теплоты поверхностных вод / В.В. Харченко, А.О. Сычёв // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 7. – С. 31–36.

3. Chemekov V. V. The heat supply system for a self-contained dwelling house on the basis of a heat pump and wind power installation / V. V. Chemekov, V. V. Kharchenko // Thermal Engineering. – 2013. – Т. 60, № 3. – С. 212–216.

Розглянуто питання теплопостачання малоповерхових будівель за допомогою теплонасосної системи на основі використання низькопотенційної теплоти невеликих водотоків. Наведено приклад конструкції заглибного теплообмінника вода-розсіл, зпроектованого для роботи у складі подібних систем.

Тепловий насос, низькопотенційна теплота, водотік, заглибний теплообмінник вода-розсіл.

Questions of the organization of a heat supply of low-storeyed buildings with the help of heat pump systems functioning on the basis of low potential heat of small watercourses are considered. The example of a design of the submersible water-brine heat exchanger designed for work as a part of similar systems is given.

Water-source heat pump, low-grade heat, watercourse, submersible water-brine heat exchanger.

УДК 62.644.1

ТЕМПЕРАТУРА РОСЛИНИ ЯК ПАРАМЕТР ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ

**В.П. ЛИСЕНКО, доктор технічних наук
В.М. МІРОШНИК, І.М. БОЛБОТ, кандидати технічних наук
Т.І. ЛЕНДЄЛ, аспірант***

Показано, що при вирощуванні овочевої продукції поряд з тепловими характеристиками навколишнього середовища важливою є інформація про температуру рослин. Проаналізовано залежності температури рослин від освітленості в теплиці.

Фітостан, температурний режим, теплиця, мікроклімат.

**Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.П. Лисенко
© В.П. ЛИСЕНКО, В.М. МІРОШНИК, І.М. БОЛБОТ, Т.І. ЛЕНДЄЛ*

При проектуванні систем стабілізації температурного режиму у теплиці температура рослин може значно відрізнятися від температури повітря в теплиці. Тому, для збільшення врожайності та отримання якісної продукції потрібно враховувати фітостан рослини.

Температура рослин залежить від співвідношення енергій, що нею поглинається і віддається. Це залежить від багатьох параметрів як навколишнього середовища (рівень радіації, температури повітря, швидкості його переміщення), так і стану самих рослин (оптичні властивості рослини, розмір і розташування листя тощо). За результатами дії всіх зазначених факторів температура рослини зазвичай відрізняється від температури навколишнього повітря. При цьому можливо, що температура рослини може бути:

- вищою температури повітря;
- нижчою температури повітря;
- рівною температурі повітря або дуже близькою до неї.

Перше можливе лише при нагріванні плодів томата, стебла і листя сонячним промінням, що може призвести до перегріву рослин і ці обставини слід враховувати у процесі вирощування томатів [6].

Частіше при вирощуванні томатів у теплиці температура рослин нижча або близька до температури повітря теплиці.

Мета досліджень – визначення факторів, які впливають на температурний стан рослин у теплиці.

Матеріали та методика досліджень. Нами було проведено дослідження температури фітомаси у просторі однієї з теплиць у ПАТ "Комбінат "Тепличний". При цьому вимірювалась температура стебла, листка і плоду рослини, освітленість та температура повітря в теплиці і такий фітотрихний параметр рослини як діаметр стебла.

Вимірювання освітленості та температури рослин і повітря в теплиці проводились протягом дня в різних рядах теплиці. Освітленість при цьому змінювалась від 2500 до 11000 лк.

Результати досліджень. Результати вимірювань середніх значень параметрів, що досліджувались (температури стебла, плоду, листка рослини, повітря та освітленості біля рослини), наведено в табл. 1.

1. Результати вимірювань досліджуваних параметрів

№ ряду	Освітленість у теплиці, лк	Температура стебла рослини, °С	Температура плоду, °С	Температура листка, °С	Температура повітря біля рослини, °С
1	3060	24,68	24,68	24,66	29,2
2	2607	25,85	25,69	24,34	33,5
3	4058	24,83	25,83	23,17	32
4	4148	25,08	25,73	23,23	30,7
5	5285	23,47	25,04	21,59	29,7
6	6705	25,92	26,51	25,1	30,9
7	6900	25,3	26,5	24,2	30,75

Усереднені результати вимірювань подано на рис. 1.

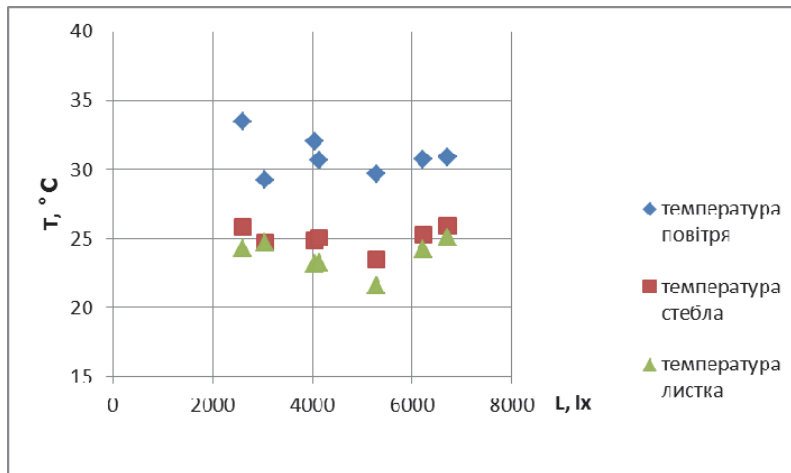


Рис.1. Залежність температур рослини та повітря біля рослини від освітленості

Аналіз матеріалів, що наведено на рис. 1, дозволяє використати для їх опису лінійну регресію, коефіцієнти якої визначаються методом найменших квадратів (застосовують при нормальному розподілі).

$$y = a + b \cdot x, \quad (1)$$

де a і b – коефіцієнти лінійного рівняння.

Визначимо коефіцієнти рівняння (1) та похибки вимірювання за методикою, що наведена в [4]. Розрахунки коефіцієнтів лінійного рівняння проводимо в математичному пакеті MathCAD. Матриці параметрів, що досліджуються, будуть мати вигляд:

$$AA = \begin{pmatrix} n & \sum xa \\ \sum xa & \sum xa^2 \end{pmatrix}, \quad BA = \begin{pmatrix} \sum ya \\ \sum (xa_{ii} ya_{ii}) \end{pmatrix}, \quad BB = \begin{pmatrix} \sum yb \\ \sum (xa_{ii} yb_{ii}) \end{pmatrix},$$

$$BC = \begin{pmatrix} \sum yc \\ \sum (xa_{ii} yc_{ii}) \end{pmatrix}, \quad BD = \begin{pmatrix} \sum yd \\ \sum (xa_{ii} yd_{ii}) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де xa – вимірні значення освітленості; ya – вимірні значення температури стебла рослини; yb – вимірні значення температури плоду; yc – вимірні значення температури листка; yd – вимірні значення температури повітря біля рослини; AA – матриця коефіцієнтів освітленості в теплиці; BA – матриця коефіцієнтів температури стебла рослини; BB – матриця коефіцієнтів температури плоду; BC – матриця коефіцієнтів температури листка; BD – матриця коефіцієнтів температури повітря біля рослини; n – обсяг вибірки.

Загальний вираз для визначення коефіцієнтів рівняння має вигляд [5]:

$$k = A^{-1}B = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де k – матриця коефіцієнтів a та b ; A^{-1} – обернена матриця значень аргументу (для нашого випадку – освітленість); B – матриця залежної величини (для нашого випадку – це температури стебла, плоду, листа та повітря біля рослини).

Із (3) визначимо коефіцієнти для рівнянь стосовно:

- температури стебла:

$$aa1 = AA^{-1}BA = \begin{pmatrix} 24.902 \\ 2.489 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

- температури плоду:

$$aa2 = AA^{-1}BB = \begin{pmatrix} 24.443 \\ 2.707 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

- температури листка:

$$aa3 = AA^{-1}BD = \begin{pmatrix} 23.655 \\ 2.155 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

- температури повітря біля рослини:

$$aa4 = AA^{-1}BC = \begin{pmatrix} 32.142 \\ -2.515 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Результати розрахунку за (4) – (7) дозволять у явному вигляді побудувати залежності температур рослини та повітря біля рослини від величини освітленості в теплиці.

Визначимо точність розрахунку параметрів за прийнятими лінійними моделями [4]

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{pi})^2}{n-1}}, \quad (8)$$

де δ – середньоквадратичне відхилення розрахунку від результатів вимірювань; y_i – результат вимірювання параметра, що досліджувався (див. табл.1); y_{pi} – середнє розраховане значення функції; n – кількість вимірювань.

Таким чином, рівняння регресії в явному вигляді та середньоквадратичне відхилення будуть:

- для температури стебла

$$y1(x) = 24.902 + 2.489 \cdot 10^{-5}x, \quad (9)$$

$$\delta_1 = 0,829 \text{ } ^\circ\text{C},$$

для температури плоду

$$y2(x) = 24,443 + 2,707 \cdot 10^{-4}x, \quad (10)$$

$$\delta_2 = 0,507 \text{ } ^\circ\text{C},$$

для температури листка

$$y3(x) = 23,665 + 2,155 \cdot 10^{-5}x, \quad (11)$$

$$\delta_3 = 1,188 \text{ } ^\circ\text{C},$$

для температури повітря біля рослини

$$y4(x) = 32,142 - 2,515 \cdot 10^{-4}x, \quad (12)$$

$$\delta_4 = 1,37 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Графічні зображення залежностей температур від освітленості наведемо на рис. 2 (розраховані та за результатами вимірювань).

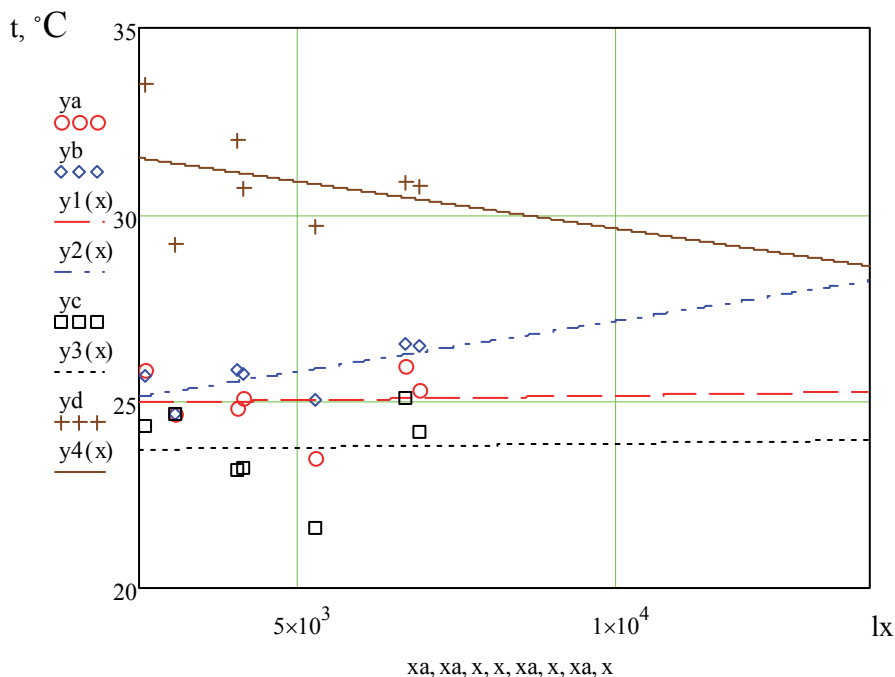


Рис. 2. Залежності температури рослини та повітря біля рослини від освітленості:

температура стебла: y_a (\circ) – результати вимірювань, y_1 (– –) – результати розрахунків; температура плоду: y_b (\diamond) – результати вимірювань, y_2 (– –) – результати розрахунків; температура листка: y_c (\square) – результати вимірювань, y_3 (· · ·) – результати розрахунків; температура повітря біля рослини: y_d (+) – результати вимірювань, y_4 (–) – результати розрахунків

Із графіків видно, що в денний період часу температура рослини збільшується за рахунок зростання освітленості при тому, що температура повітря в теплиці зменшувалася. Це слід враховувати (відстежувати температури фітомаси), бо перегрів рослин може негативно вплинути на їх подальший розвиток [6].

Для встановлення залежності температури рослини від її фітотметричних параметрів вимірювався діаметр стебла рослини.

Результати вимірювань температури стебла та його діаметра наведено в табл. 2.

Для опису залежностей, що наведені на рис. 3, використаємо нелінійне рівняння регресії

$$y = ax^2 + bx + c, \quad (13)$$

де a, b і c – коефіцієнти рівняння; x – змінна.

Виміряні значення діаметра стебла записано у вигляді матриці D з розмірністю 40×1 , а виміряні значення температури стебла у вигляді матриці $S1$ з такою ж самою розмірністю:

$$D = (12,1 \ 12,24 \ 11,66 \ 11,66 \ 12,3 \ 13,1 \ 12,58 \ \dots \ 16,68 \ 13)_{40 \times 1},$$

$$S1 = (19 \ 24,5 \ 24,9 \ 24 \ 24,4 \ 24,7 \ 26 \ \dots \ 26,5 \ 27)_{40 \times 1}. \quad (14)$$

Розрахунки коефіцієнтів рівняння проводимо в математичному пакеті MathCAD:

$$A = \begin{pmatrix} N & \sum D & \sum D^2 \\ \sum D & \sum D^2 & \sum D^3 \\ \sum D^2 & \sum D^3 & \sum D^4 \end{pmatrix}, B1 = \begin{bmatrix} \sum S1 \\ \sum (S1_i D_i) \\ \sum_i S1_i (D_i)^2 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

де А – матриця коефіцієнтів діаметра стебла рослини; В1 – матриця коефіцієнтів температури стебла рослини; N – обсяг вибірки.

Для визначення коефіцієнтів моделі (13) використовуємо алгоритм

$$a1 = A^{-1} \cdot B1 = \begin{pmatrix} 33,82 \\ -1,401 \\ 0,054 \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Відповідно залежність між температурою стебла та його діаметром представлено рівнянням та рис. 4:

$$y5(x) = 33,82 - 1,401x + 0,054x^2; \quad (17)$$

середньоквадратична похибка при цьому дорівнює: $\delta_4 = 1,981 \text{ } ^\circ\text{C}$.

2. Результати вимірювань температури стебла та його діаметра

№ виміру	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Діаметр стебла	12,1	12,24	11,66	11,66	12,3	13,1	12,58	12,89	10,92	12,6
Температура стебла	19	24,5	24,9	24	24,4	24,7	26	25,7	26	27,6
№ виміру	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Діаметр стебла	11,6	12,12	13,5	11,51	12,66	11,82	12,88	14,23	12	12,82
Температура стебла	24,6	24,9	25,3	25,3	25,5	24,5	25,5	26,6	26,6	27,5
№ виміру	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Діаметр стебла	11,8	13,8	13,3	12,38	13,1	12	13	12,5	15	14
Температура стебла	27,5	23	23,8	23,6	24,5	25	24,6	25,1	25,2	26
№ виміру	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Діаметр стебла	11,7	12,75	12,02	11,8	15,84	13,14	13	13,24	16,68	13
Температура стебла	27,5	21,6	22,5	23,5	25	25,1	24,8	26	26,5	27

Графічно результати вимірювань наведено на рис. 3.

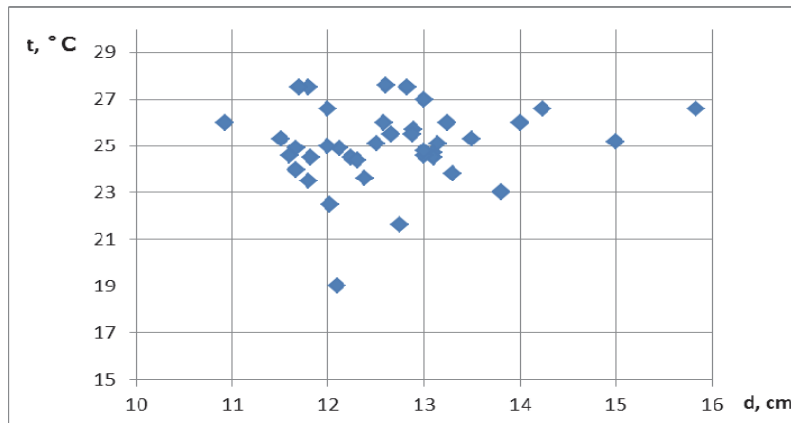


Рис. 3. Результати вимірювань температури стебла та його діаметра

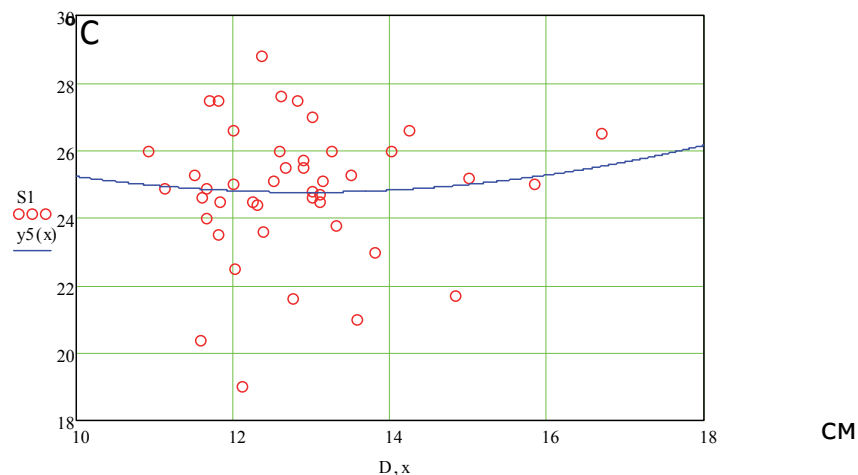


Рис. 4. Залежність температури стебла від його діаметра:
 температура стебла: S1 (°) – результати вимірювань,
 y5 (–) – результати розрахунків

Для встановлення зв'язку між двома параметрами визначимо коефіцієнт кореляції [5,6]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (16)$$

де x_i і y_i – значення змінних; \bar{x} і \bar{y} – середні значення змінних; $i=1..m$ – обсяг вибірки.

Із (16) визначено коефіцієнт кореляції, рівний $r_{xy}=0,19$, що вказує на низький зв'язок між двома вимірюваними параметрами [2, 4].

Висновки. У результаті досліджень встановлено, що температура рослин може значно відрізнятись від температури повітря в теплиці і це потрібно враховувати при проектуванні систем стабілізації температурного режиму у теплиці. За виміряними температурами рослини (плоду, листка і стебла), повітря біля рослини та освітленості визначено залежності температур від освітленості в теплиці. Середньоквадратичні похибки моделей при цьому становили: $\delta_1 = 0,829$

$^{\circ}\text{C}$ – при розрахунку температури стебла; $\delta_2 = 0,507$ $^{\circ}\text{C}$ – при розрахунку температури плоду; $\delta_3 = 1,188$ $^{\circ}\text{C}$ – при розрахунку температури листка; $\delta_4 = 1,37$ $^{\circ}\text{C}$ – при розрахунку температури повітря біля рослини.

За результатами досліджень визначено коефіцієнт кореляції між температурою стебла та його діаметром, який становить $r_{xy} = 0,19$.

Список літератури

1. Безручко А.С. Система автоматичного регулювання мікроклімату в теплицях / А.С. Безручко, Ю.Н. Пчелкин // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 1984. – № 6. – С.11.

2. Гайдышев И. Анализ и обработка данных: спец. справочник / И. Гайдышев. – СПб: Питер, 2001. – 752 с.

3. Клапвайк Д. Климат теплиц и управление ростом растений / Д. Клапвайк. – М.: Колос, 1976. – 127 с.

4. Крянев А.В. / Математические методы обработки неопределенных данных / А.В. Крянев, Г.В. Лукин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 216 с.

5. Овощеводство / [Г. И. Тарakanов, В.Д. Мухин, К.А. Шуин и др.]. – М.: Колос, 2003. – 472 с.

6. Полевой В.В. Физиология растений / В.В. Полевой. – М.: Высш. шк., 1989. – 464 с.

7. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и её приложения / В. Феллер. – М.: Мир, 1964. – 511 с.

Показано, что при выращивании овощной продукции наряду с тепловыми характеристиками окружающей среды важна информация о температуре растений. Проанализированы зависимости температуры растений от освещенности в теплице.

Фитосостояние, температурный режим, теплица, микроклимат.

It is shown that when grown vegetable production along with the thermal properties of the environment is important information about temperature plants. The analysis of temperature dependence of light plants in the greenhouse.

Fitocondition, temperature, greenhouse, climate.

НЕКОТОРЫЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДОЕНИЯ КОРОВ В МОЛОКОПРОВОД

Л.П. КОРМАНОВСКИЙ, академик РАН
**ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва**

При доении коров в молокопровод имеют место серьезные недостатки: спадание на пол доильных аппаратов с вымени животных в процессе доения, засасывание вакуумом в молоко навозной жижи и других нечистот, большое физическое напряжение оператору, медленный процесс выдаивания. Разработан и предложен крестцовый стимулятор припуска молока и фиксатор доильных стаканов.

Крестец, крестцовый стимулятор, фиксатор доильных стаканов, припуск молока, манипулятор, экология.

За последние годы проделана большая работа учеными по автоматизации доения на доильной установке типа “Елочка” на базе электроники. Отработана надежная система идентификации животных, четкое отображение номера животного в любом доильном станке, автоматическая стимуляция в начале и конце доения. Система обеспечивает отображение в реальном режиме времени на дисплее блока управления доением “номера животного”, количества полученного молока, времени доения, интенсивности молокоотдачи и режима доения (пуск - стимуляция, доение, додаивание, стимуляция, отключение доильного аппарата), графика молокоотдачи каждого животного и протокола доения всего стада. Однако основная масса коров выдаивается в молокопровод. Здесь также применяются элементы автоматизации. Молокопровод изобретен и применяется для доения коров уже около ста лет. Много в нем усовершенствовано. Вместе с этим остаются нерешенными ряд вопросов.

Цель исследований – усовершенствование технологии доения коров в молокопровод.

Материалы и методика исследований. Бывают случаи, когда работающий доильный аппарат в процессе доения и беспокойного поведения животного падает на пол и вакуумом засасывает нечистоты, грязь и навозную жижу в молокопровод, а далее в танк с молоком. Оператор машинного доения не всегда может уследить за этим и своевременно отключить доильный аппарат. Поэтому получается несортное молоко и наносится большой экономический ущерб. Далее медленная подготовка оператором вымени животного к доению – обмыв теплой водой, неполноценный ручной массаж не обеспечивает достаточного припуска молока, идет вялый процесс молокоотдачи, доение затягивается. Помимо этого не все четверти вымени выдаиваются одновременно и те из них,

которые выдаиваются раньше, подвергаются сухому доению, молока нет, а такты сосания продолжаются, что вызывает заболевание коров маститом.

Кроме того, как известно, работа доильного аппарата должна быть строго согласована с секреторной деятельностью коровы, регулирующей процессы молокообразования и молокоотдачи. В первую очередь необходимо обеспечить полноценный припуск молока – наполнение сосков вымени молоком.

Время от получения внешнего сигнала (подмыв вымени) до активного припуска составляет около 45 с. За этот период должны быть выполнены все подготовительные операции на вымени и подключен доильный аппарат. Это имеет особо важное значение, потому что гормон – окситоцин, выделенный гипофизом в кровь, находится там непродолжительное время, затем он разрушается и перестает действовать. Поэтому подготовительные операции – подмыв вымени, обтирание его и массаж, сдавливание первых струек молока, включение доильного аппарата в работу и надевание доильных стаканов на соски должны быть выполнены не более чем за 60 с. Это требование часто нарушается и его невозможно восполнить. Кроме того, неудобная поза оператора – в процессе подключения аппарата он находится в наклонном положении, держа аппарат массой 4 кг на вытянутой руке под выменем животного, второй рукой ему надо подхватить очередной стакан и попасть на сосок вымени животного. Все это создает большое напряжение оператору и затягивает время подключения.

Результаты исследований. В целях устранения этих крупных недостатков учеными научно-производственного объединения “Фемакс” ВИЭСХ разработан и предложен крестцовый стимулятор припуска молока с фиксатором доильных стаканов. На рис. 1 представлена общая схема стимулятора и фиксатора доильных стаканов, на рис. 2 показан держатель доильных стаканов.

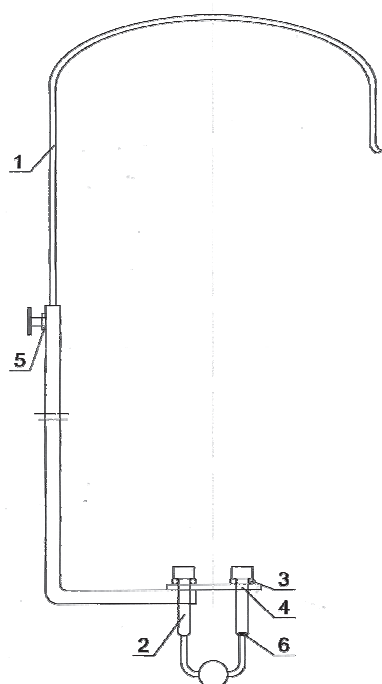


Рис. 1. Общая схема стимулятора и фиксатора доильных стаканов:

- 1 – металлическая дуга; 2 – доильный стакан;
- 3 – полукольцо; 4 – держатель доильных стаканов;
- 5 – разъем регулировки высоты держателя стаканов; 6 – клапан

Крестцовый стимулятор припуска молока с фиксацией доильных стаканов состоит из металлической дуги 1, держателя доильных стаканов 4, полукольца 3, разъема регулировки высоты держателя стаканов 5, клапана 6 в каждом доильном стакане 2, отсекающий вакуум от соска по завершении выдаивания.

Работает крестцовый стимулятор припуска молока с фиксацией доильных стаканов следующим образом. Доильные аппараты находятся на промывке в молочном отделении, там же располагаются металлические дуги с держателями доильных стаканов. Оператор берет доильный аппарат и заводит доильные стаканы в полукольца держателей доильных стаканов, причем величина зазора в месте разреза кольца превышает толщину бокового вакуум-штуцера доильного стакана, а диаметр полукольца больше диаметра доильного стакана, но меньше диаметра его оголовка. Поэтому стакан может свободно перемещаться вверх и вниз в полукольце, не выходя за его пределы. Скомплектованные таким образом два доильных манипулятора оператор вешает себе на плечо и перемещается в доильное помещение, где размещает их на вакуум-проводе своей группы коров. После подготовки очередной коровы – обмыв вымени и массаж, оператор берет манипулятор за дугу и одевает (навешивает) на спину животного в районе крестца таким образом, что держатель 4 подводится под вымя животного и регулирует его по высоте разъемом 5. Так как у оператора обе руки свободны, он сдаивает первые струйки из двух задних сосков и подсоединяет два доильных стакана. Тоже самое производит и с передними сосками. Возможен и другой вариант. Если оператор располагается с правой стороны животного, то он сначала сдаивает два левых доильных соска и подключает два левых стакана, а затем два правых и подключает одновременно два правых стакана. Таким образом, доильный аппарат за короткий срок будет подсоединен и запущен в работу.

Клапан в доильном стакане всплывает и молоко поступает в коллектор. После выдаивания клапан садится в гнездо, отсоединяя сосок от вакуума, стакан сползает с соска, садится в полукольцо 3 держателя 4 и остается в вертикальном положении. Тоже происходит и с двумя другими стаканами.

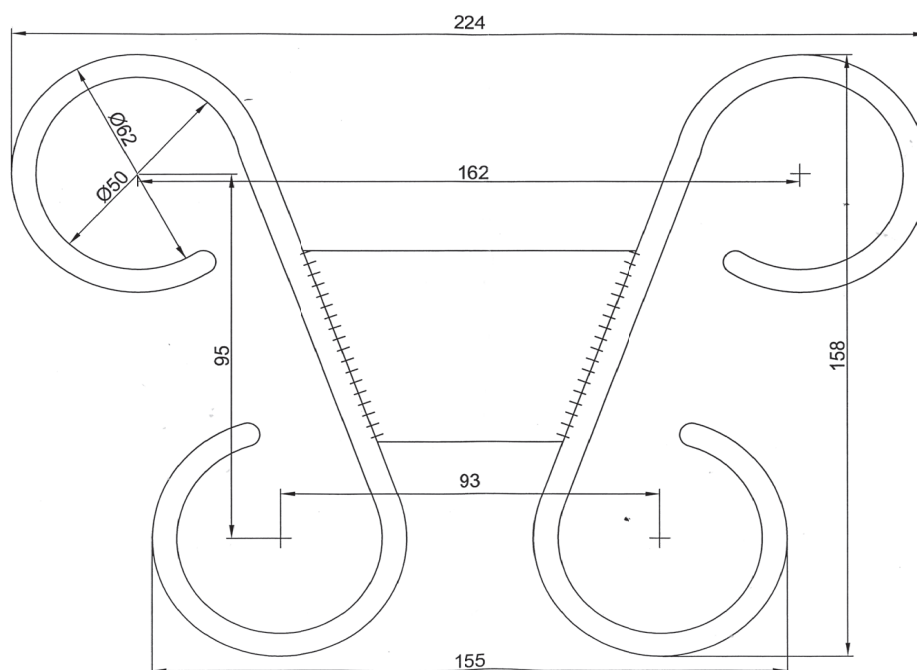


Рис. 2. Держатель доильных стаканов

Выводы. Разработан крестцовый стимулятор припуска молока с фиксацией доильных стаканов, содержащий подключаемые к вымени доильные стаканы с клапанами. Стимулятор выполнен в виде металлической дуги с регулируемым по высоте разъемом. Верхняя часть дуги устанавливается на спину животного в районе крестца, действуя на биологически активную точку и вызывая припуск молокоотдачи, а ее нижняя часть снабжена держателем с полукольцами, поддерживающим доильные стаканы. Все это обеспечивает благоприятное доение, облегчает труд оператора, повышает его производительность и соответствует физиологическим требованиям животных.

Список литературы

- 1.Кормановский Л.П. Новый этап технического прогресса в машинном доении / Л.П. Кормановский // Техника в сельском хозяйстве. – 1995. – №4. – С. 2–3.
- 2.Кормановский Л.П. Обеспечение животноводства новыми технологиями / Л.П. Кормановский // Молочное и мясное скотоводство. – 2001. – №3. – С. 8.

При доїнні корів у молокопровід мають місце серйозні недоліки: спадання на підлогу доїльних апаратів з вимені тварин у процесі доїння, засмоктування вакуумом в молоко гноївки та інших нечистот, велике фізичне напруження оператору, повільний процес видоювання. Розроблено та запропоновано крижовий стимулятор припуску молока і фіксатор доїльних стаканів.

Крижі, крижовий стимулятор, фіксатор доїльних стаканів, припуск молока, маніпулятор, екологія.

Milking cows in the milk are serious drawbacks: the decay of the floor milking machines udder during milking animals, suction vacuum milk slurry and other impurities, great physical strain operator, slow process of milking. Developed and proposed sacral stimulant allowance of milk and lock the teat cups.

Sacrum, sacral stimulant, lock the teat cups, milk allowance, manipulator, and ecology.

РОЗРОБКА ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО КОТЛА ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ БІОВІДХОДІВ

**© В.А. МАТВІЙЧУК, Н.Р. ВЕСЕЛОВСЬКА, доктори технічних наук
О.О. РУБАНЕНКО, кандидат технічних наук
Вінницький національний аграрний університет
О. М. ДМИТРИШЕН, інженер
Томашпільський цукровий завод**

Розроблено схему та основні конструктивні параметри газогенераторного котла. Запропоновано високоефективні способи виготовлення його основних елементів. Виготовлено дослідний зразок та встановлено його технологічні характеристики. Проаналізовано можливість використання газогенераторного котла як міні-ТЕЦ.

Газогенераторний котел, тверді види палива, міні-ТЕЦ.

Впровадження енергоощадних технологій та використання альтернативних видів палива є перспективним шляхом заощадження коштів і зменшення залежності від зарубіжних експортерів енергоресурсів, а також зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище [1]. Сучасний енергетичний стан країни переживає не найкращі часи, тому актуальним є перехід на відновлювальні джерела палива, такі як відходи садівництва, рослинництва, а також побутові відходи, і взагалі все що горить. В умовах підвищення цін на традиційні енергоносії та проблеми з їх видобутком та постачанням населенню перспективним є застосування і встановлення міні-ТЕЦ для населення. Така практика широко застосовується в країнах ЄС (Данія, Швеція, Німеччина, Фінляндія та ін.).

У дослідженнях, проведених і висвітлених в статтях Г.Г. Гелетухи, відзначається, що «біомаса як паливо впевнено посідає четверте місце у світі за обсягами виробництва та споживання енергії. Її частка у загальному постачанні первинної енергії сягає 10 %. У секторі виробництва теплової енергії біомаса також знаходиться на четвертому місці після вугілля, природного газу та нафти...». Це дає можливість зробити висновок про актуальність вдосконалення існуючих і розробки нових газогенераторних котлів на твердому біопаливі [2]. Слід зазначити, що в ЄС 15 % загального обсягу теплової енергії виробляється з біомаси, а Україна вже в 2020 році за рахунок використання біомаси зможе заощадити 3,5 млрд м³ природного газу [3].

Мета досліджень – розробка газогенераторного котла для спалювання сільськогосподарських біовідходів і побутового сміття з

високим ККД, а також розробка високоефективних і маловідходних способів виготовлення його основних елементів.

Матеріали та методика досліджень. При розробці газогенераторного котла основним завданням було забезпечення простоти його конструкції і максимального коефіцієнта корисної дії. Дослідний зразок котла був створений на основі промислового автомобільного газогенератора. Принцип дії полягає в тому, що тверде паливо проходить через зону високої температури без достатньої кількості кисню. Під дією цієї температури паливо перетворюється в суміш горючих газів. В основі цих газів є горючий чадний газ.

На рис. 1 показано автомобільний газогенератор, який і є прототипом розробленого газогенераторного котла [5]. На рис. 2 наведено зовнішній вигляд дослідного газогенераторного котла, який був виготовлений за вдосконаленою нами схемою.

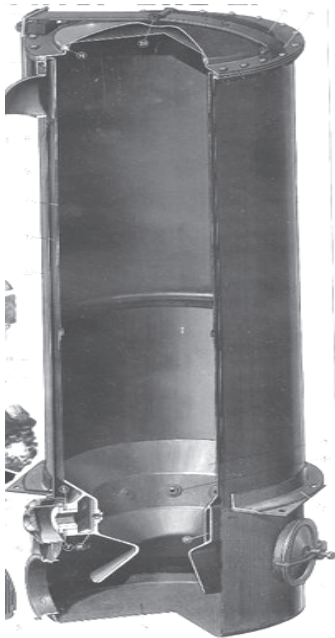


Рис. 1. Автомобільний газогенератор



Рис. 2. Дослідний зразок газогенераторного котла

На рис. 3–4 наведено деякі елементи газогенераторного котла:



Рис. 3. Зовнішній вигляд завантажувального бункера



Рис. 4. Вентилятор і засоби регулювання

На рис. 5 подано принципову схему розробленого газогенераторного котла.

Існуючі піролізні промислові котли нині є досить дорогими для звичайного споживача (населення та малого бізнесу). Їх вартість перевищує 12 тис. грн. за котел потужністю 10 кВт.

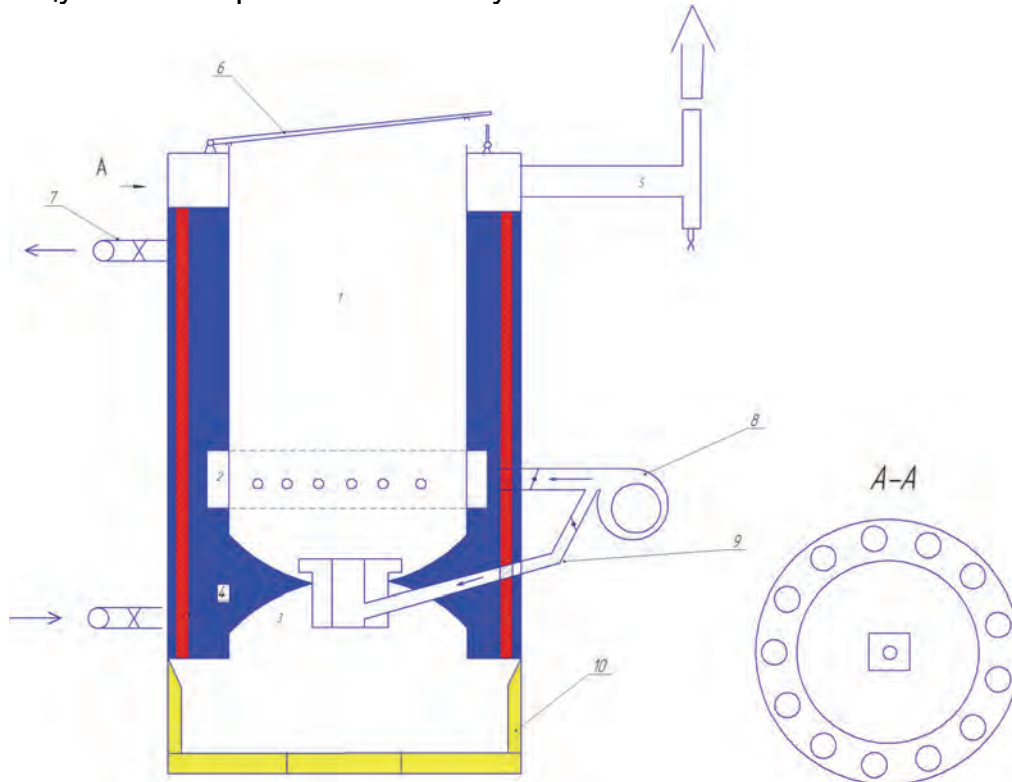


Рис. 5. Принципова схема газогенераторного котла:

- 1 – завантажувальний бункер; 2 – труба подачі первинного повітря;
- 3 – форсунка-змішувач; 4 – трубка теплообмінника; 5 – димохід;
- 6 – герметична кришка бункера; 7 – труби відведення гарячої води;
- 8 – вентилятор; 9 – трубка вторинного повітря; 10 – вогнетривка цегла

Тому, актуальною є задача створення вдосконаленого газогенераторного котла з меншою вартістю, що є можливим на основі спрощення конструкції і зменшення собівартості його виготовлення.

Результати досліджень. До основних вартісних елементів газогенераторного котла належить сталевий корпус із фланцями та сформованими кільцевими канавками (див. рис. 1, 2). Решта елементів є простими у виготовленні або належать до стандартних комплектуючих (вентилятор, крани). Тому, в цій роботі значна увага приділяється розробці саме корпуса і фланцевих елементів котла.

Для формування фланців на корпусі і кришці котла та окремих фланцевих елементів нами розроблено процес ротаційного відбортуння. На рис. 6 показано конструкцію і загальний вигляд розкочувальної головки, розробленої у вигляді приставки до лобового токарного верстата ЛТ2 для ротаційного відбортуння фланців.

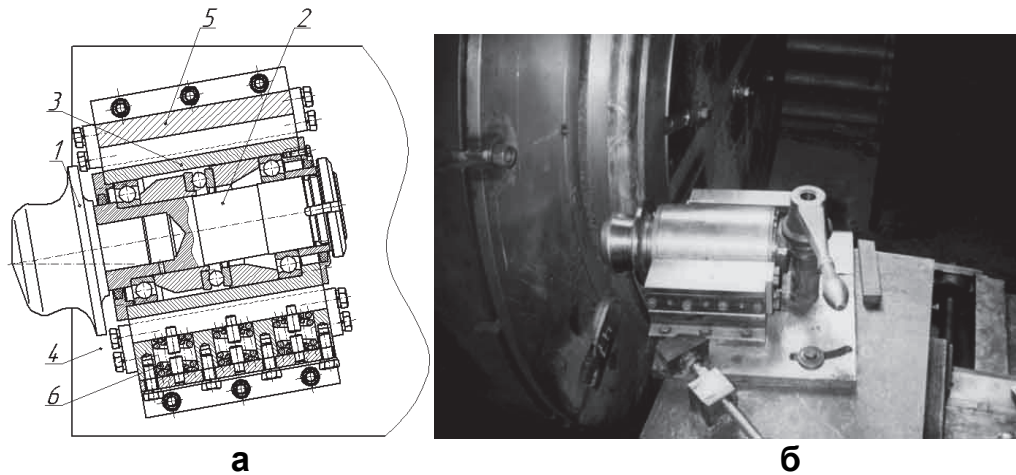


Рис. 6. Конструкція розкочувальної головки (а) і загальний вигляд розкочувальної приставки до лобового токарного верстата (б):
 1 – валок; 2 – вісь; 3 – втулка; 4 – супорт верстата; 5 – утримувач;
 6 – пружина

Сприяє ефективному формоутворенню фланців відкритий нами ефект впливу активних сил тертя на напрямок і інтенсивність плинину матеріалу заготовки на контактi з валком [4]. Основними параметрами, що впливають на напрямок плинину матеріалу заготовки при розкочуванні конічним валком, є кут нахилу α осі валка, а також величина і напрямок зміщення вершини валка δ відносно осі обертання заготовки. З використанням апарата аналітичної геометрії отримано залежність кута φ між векторами швидкості точок контактної поверхні заготовки і валка від параметрів процесу розкочування.

Кут φ між векторами швидкостей точок контактної поверхні заготовки і конічного валка від параметрів процесу розкочування визначається залежністю:

$$\varphi = \arctg \left[\frac{(k_1 - k_2)}{(1 + k_1 k_2)} \right], \quad (1)$$

де $k_1 = -x_0 / y_0$, $k_2 = m / l$ – кутові коефіцієнти проєкцій прямих, на яких лежать вектори швидкості точок заготовки і валка, на утворену розкочуванням площину. Залежність (1) кута φ від напрямку та величини зміщення валка δ при різних кутах нахилу його осі графічно подано на рис. 7, а, від радіуса заготовки – на рис. 7, б.

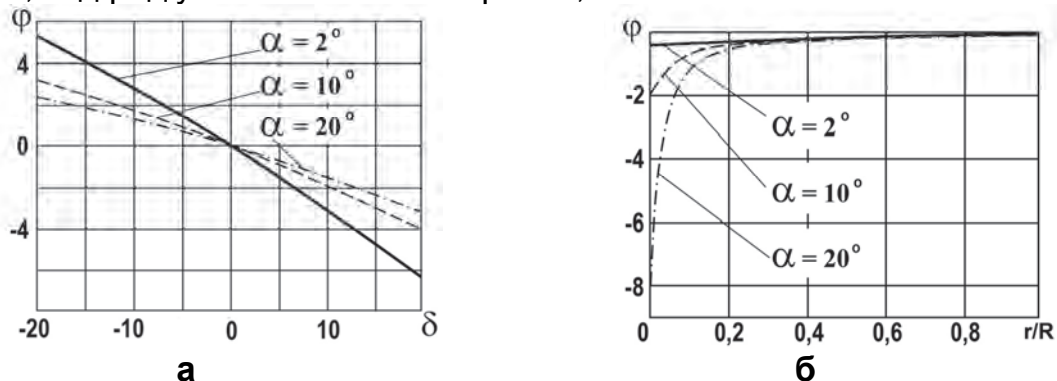


Рис. 7. Залежність кута φ від напрямку та величини зміщення валка δ (а) і радіуса заготовки (б) при різних кутах нахилу валка

Аналіз отриманих залежностей показує, що при додатному зміщенні вершини валка (від осі обертання заготовки в напрямку плями контакту) матеріал тече від центра заготовки ($\varphi < 0$), а при від'ємному – до центра ($\varphi > 0$).

Інтенсивність плинку несиметрична відносно нульового зміщення, тобто матеріал інтенсивніше тече у напрямку від центра. При збільшенні кута α інтенсивність відцентрового плинку збільшується. Максимальна інтенсивність плинку спостерігається на відстані $r < 0,2R$ від центра заготовки (див. рис. 7, б).

Передбачене в пристрої підпружинення розкочувального валка пружинами 6 запобігає перевантаженню пристрою у випадку значного радіального биття заготовки, а також сприяє формуванню фланців з від'ємним кутом нахилу бокової поверхні оправки для компенсації пружних деформацій заготовки від залишкових напружень. Пристрій є досить простим і зручним для переналаджування процесу у випадку формування різних виробів.

Загальний вигляд отриманих ротаційним відбортуванням кришок з фланцями показано на рис. 8. Час формування фланця становить 30-60 с. Точність розмірів виготовлених деталей залежить, переважно, від точності оправки. Відхилення по товщині стінки заготовки на ділянці пластичного формоутворення не перевищує 0,03 мм, що забезпечується підпружиненням валка.



Рис. 8. Вироби, отримані ротаційним відбортуванням круглих листових заготовок

Шорсткість обробленої поверхні заготовки не перевищувала значень $R_a = 0,16$ мкм. За рештою видів допусків радіального і торцевого биття, циліндричності та ін. отримані вироби цілком задовольняють технічним вимогам. Важливою операцією виготовлення корпуса газогенератора є також формування на ньому кільцевих канавок. Для цього нами був розроблений процес обтиснення обкочуванням корпуса циліндричними роликками.

Процес обтиснення обкочуванням виявився стабільним і продуктивним, проте супроводжувався значним потоншенням стінки в зоні утворення кільцевої канавки. Тому, розробка процесу полягала у визначенні параметрів обкочування, які забезпечують формування максимальної за глибиною канавки при мінімізації локального потоншення стінки і запобігають руйнуванню матеріалу.

Для оцінки граничного стану заготовки при обкочуванні необхідно знати напружено-деформований стан (НДС) матеріалу в пластичній зоні. З цією метою було розглянуто обтиснення тонкостінної труби з товщиною стінки s , радіусом $d/2$ у кільцеву щілину шириною $b=2L$. Матеріал заготовки прийнято жорстко пластичним, анізотропним, ізотропно зміцнювальним, для якого справедливою є умова плинності Мізеса - Хілла. Напружений стан прийнято плоским за наявності в стінці меридіонального і колового напружень. При цьому умова плинності і асоційований закон плинності мають вигляд:

$$A\sigma_\varphi^2 + B\sigma_\mu^2 + C(\sigma_\varphi - \sigma_\mu)^2 = 1 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} d\varepsilon_\varphi &= d\lambda[A\sigma_\varphi + C(\sigma_\varphi - \sigma_\mu)]; \\ d\varepsilon_\mu &= d\lambda[B\sigma_\mu + C(\sigma_\mu - \sigma_\varphi)]; \\ d\varepsilon_r &= d\lambda[A\sigma_\varphi + B\sigma_\mu], \end{aligned} \quad (3)$$

де σ_φ , σ_μ – колове і меридіональне напруження; A , B , C – параметри, які характеризують поточний стан анізотропії. Осі φ, μ, r мають коловий, меридіональний та радіальний напрямки і збігаються з головними осями анізотропії.

Записавши рівняння руху деформованої оболонки з радіусами кривизни в меридіональному і коловому напрямках R_μ, R_φ , що виражені через геометричні параметри заготовки, та використавши рівняння (2) і (3), були отримані формули для визначення компонент напружень:

$$\begin{aligned} \sigma_\mu &= \pm\sigma_T \sqrt{(1 + \kappa_\mu) / [1 + \kappa_\mu (H - 1)^2 + (\kappa_\mu / \kappa_\varphi) H^2]}; \\ \sigma_\varphi &= H\sigma_\mu; \\ H &= -[1 - \gamma(1 + 2\kappa_\mu)] / [\kappa_\mu / \kappa_\varphi + \gamma(\kappa_\mu / \kappa_\varphi + 2\kappa_\mu)]; \\ \gamma &= \dot{\varepsilon}_r / \left(\dot{\varepsilon}_\mu - \dot{\varepsilon}_\varphi \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Тут: σ_T – границя плинності матеріалу; $\dot{\varepsilon}_r, \dot{\varepsilon}_\mu, \dot{\varepsilon}_\varphi$ – компоненти швидкостей деформацій; $\kappa_\mu = C/B$, $\kappa_\varphi = C/A$ – коефіцієнти анізотропії матеріалу відповідно у меридіональному та коловому напрямках.

Аналіз формул (4) показав, що при обтискуванні характер НДС змінюється вздовж твірної від одно - двовісного розтягу в центральній частині, до двовісного стиску на краю канавки.

Для експериментального дослідження НДС нами був використаний метод вимірювання сіток та мікротвердості. На рис. 9 показана схема замірів мікротвердості і товщини стінки корпусу в зоні кільцевої канавки.

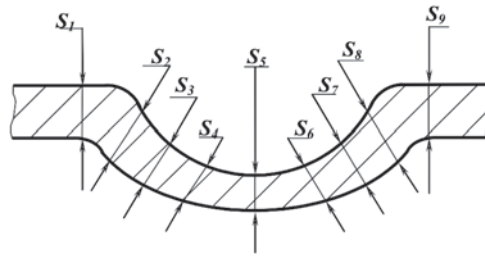


Рис. 9. Схема замірів мікротвердості і товщини стінки корпусу в зоні кільцевої канавки

За результатами вимірювань було встановлено, що на початкових стадіях обтискування, на краях канавки (перерізи S1, S9), спостерігається збільшення діаметра корпусу (<1%). Цей ефект викликаний потовщенням стінки внаслідок утворення пластичної хвилі і підтверджує наявність тут напружень стиску. По мірі збільшення ступеня обтискування товщина стінки біля краю канавки не змінюється, а деформування відбувається безпосередньо в зоні канавки.

При формуванні канавки шириною $b=20$ мм максимальне потоншення стінки відбувається на ділянках, обмежених перерізами S4 – S6. При досягненні певного ступеня обтискування на дні канавки відбувається локальне потоншення і виникає кільцева тріщина.

Для запобігання утворенню смуги зосередженого потоншення в технологічних умовах необхідно створити певну ступінь двовісного розтягу. В цьому випадку смуга зосередженого потоншення може бути настільки розмитою, що локалізація деформації не призведе до негайного вичерпання здатності листового матеріалу до деформування.

Дослідження НДС формованої кільцевої канавки показало, що воно залежить від відносних розмірів та форми інструменту і заготовки. Тому, зміною таких основних параметрів, як меридіональний радіус робочої поверхні ролика R_{μ} і ширини ролика b , можна впливати на характер НДС деформованої ділянки. Зокрема застосування ролика з $b=10$ мм призвело до того, що в процесі обкочування, в зоні перерізів S4 – S6, став переважати двовісний розтяг, а одновісний розтяг спостерігався вже в зоні перерізів S3 і S7. Тут же мало місце і максимальне потоншення стінки корпусу. Таким чином, комбінуючи геометричні параметри обкочувальних роликів, можна змінити місце знаходження зон максимального потоншення стінки. Обтискування заготовки на початкових стадіях роликком з відносно більшою шириною, а на заключних етапах роликком з меншою шириною і радіусом робочої поверхні дозволяють збільшувати ступінь обтискування корпусу, а отже і глибину кільцевої канавки. В цілому, застосування процесів ротаційного відборткування фланців і формування ротаційним обтискуванням кільцевих канавок дозволяють суттєво мінімізувати собівартість виготовлення основних елементів газогенераторного котла.

Ефективність та економічність роботи газогенераторного котла. Шляхом експериментальних досліджень було встановлено, що спалювання 3–5 кг твердої породи деревини дозволяє нагріти та довести до кипіння 180 л

води протягом 2 год, з яких 30 хв котел виходить на режим піролізу. Для опалювання приміщення площею 200 м² котел спалює від 40 кг до 60 кг твердої породи деревини за добу. Витрата палива залежить від температури навколишнього середовища. В запропонованому котлі можна спалювати побутові відходи: полімери, пластмаси, гуму та ін. з мінімальним забрудненням навколишнього середовища. В перспективі на основі газогенераторного котла планується реалізувати міні ТЕЦ, блок-схема якої наведено на рис. 10.

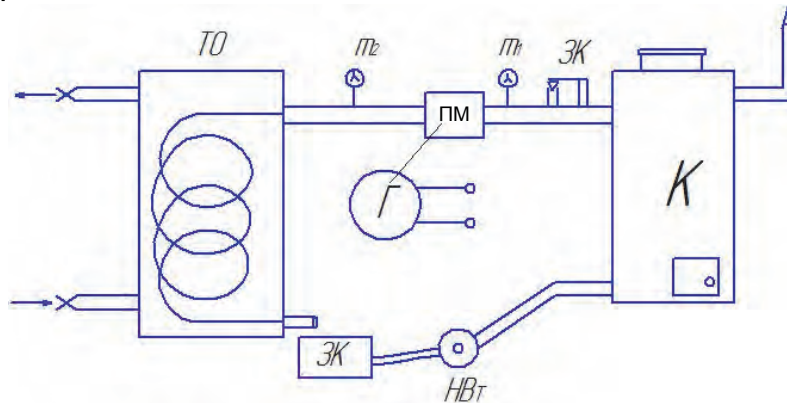


Рис. 10. Схема міні-ТЕЦ:

К – котел; ЗК – зливний клапан; М – манометр; ПМ – парова машина;
Г – генератор; ТО – теплообмінник; ЗБ – збірник конденсату;
НВТ – насос високого тиску

Висновки. Нині проводяться експерименти з газогенераторним котлом для переведення його на режим пароутворення з метою генерування електроенергії за допомогою парової турбіни та парової машини.

У зв'язку з тим, що парова турбіна створює багато шуму і викликає дискомфорт у підсобному господарстві планується використовувати парові машини на основі промислового двигуна внутрішнього згорання шляхом заміни в ньому газорозподільчого механізму та модернізації системи змащування.

Список літератури

1. Степанов Д.В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності / Д.В. Степанов, Л.А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 148 с.
2. Гринюк І. Від природного газу до біомаси / І. Гринюк // Журнал сучасного сільського господарства. – 2009. – № 4 (35). – С. 10–14.
3. Гелетуша Г.Г. Україна может сэкономить 3,5 млрд кубометров газа, используя биомассу [Электронный ресурс] / Г.Г. Гелетуша. – Режим доступа: <http://news.finance.ua/ru/news/~/322888>.
4. Матвийчук В.А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: монография / В.А. Матвийчук, И.С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2009. – 268 с.
5. Пат. 85070 Україна, МПК8 F24D/08. Газогенераторний твердопаливний котел / Бассараба С.В.; заявник і патентоутримувач Бассараба Сергій Володимирович; заявл. 10.04.2013; опубл. 11.11.13, Бюл. №21.

6.Токарев Г.Г. Газогенераторные автомобили: учеб. пособие / Г.Г. Токарев. – М.: Машгиз, 1955. – 204 с.

Разработана схема и основные конструктивные параметры газогенераторного котла. Предложены высокоэффективные способы изготовления его основных элементов. Изготовлен опытный образец и установлены его технологические характеристики. Проанализирована возможность использования газогенераторного котла в качестве мини-ТЭЦ.

Газогенераторный котел, твердые виды топлива, мини-ТЭЦ.

The scheme and basic design parameters of gas generator boiler is designed. A highly effective ways of making its basic elements are proposed. Manufactured prototype and set its technological characteristics . The possibility of using gas generator boiler mini-CHP is analyzed.

Gas-generating boilers, solid fuels, mini-CHP.

УДК 631.311.6

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И УПРАВЛЕНИЕМ ГЕНЕРАЦИЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**С.А. ЛАПШИН, генеральный директор ООО «ОКБ ВЭС», г. Калуга
В.В. ХАРЧЕНКО, доктор технических наук
В.А. ГУСАРОВ, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского
хозяйства», г. Москва**

Разработана система управления генерацией в зависимости от потребления электроэнергии и возможности использования возобновляемых источников энергии. В качестве физической среды для передачи широкополосных сигналов управления генерацией в такой системе планируется использование физической среды передачи электроэнергии.

Возобновляемые источники энергии, генерирующие мощности, система управления, сети низкого напряжения, PLC, распределенная генерация, система управления генерацией, широкополосный доступ, КПД.

В настоящее время использование локальных генерирующих мощностей, не связанных с магистральными сетями и работающих для обеспечения потребностей в электроэнергии небольших территорий

© С.А. ЛАПШИН, В.В. ХАРЧЕНКО, В.А. ГУСАРОВ, 2015

6.Токарев Г.Г. Газогенераторные автомобили: учеб. пособие / Г.Г. Токарев. – М.: Машгиз, 1955. – 204 с.

Разработана схема и основные конструктивные параметры газогенераторного котла. Предложены высокоэффективные способы изготовления его основных элементов. Изготовлен опытный образец и установлены его технологические характеристики. Проанализирована возможность использования газогенераторного котла в качестве мини-ТЭЦ.

Газогенераторный котел, твердые виды топлива, мини-ТЭЦ.

The scheme and basic design parameters of gas generator boiler is designed. A highly effective ways of making its basic elements are proposed. Manufactured prototype and set its technological characteristics . The possibility of using gas generator boiler mini-CHP is analyzed.

Gas-generating boilers, solid fuels, mini-CHP.

УДК 631.311.6

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И УПРАВЛЕНИЕМ ГЕНЕРАЦИЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

***С.А. ЛАПШИН, генеральный директор ООО «ОКБ ВЭС», г. Калуга
В.В. ХАРЧЕНКО, доктор технических наук
В.А. ГУСАРОВ, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского
хозяйства», г. Москва***

Разработана система управления генерацией в зависимости от потребления электроэнергии и возможности использования возобновляемых источников энергии. В качестве физической среды для передачи широкополосных сигналов управления генерацией в такой системе планируется использование физической среды передачи электроэнергии.

Возобновляемые источники энергии, генерирующие мощности, система управления, сети низкого напряжения, PLC, распределенная генерация, система управления генерацией, широкополосный доступ, КПД.

В настоящее время использование локальных генерирующих мощностей, не связанных с магистральными сетями и работающих для обеспечения потребностей в электроэнергии небольших территорий

© С.А. ЛАПШИН, В.В. ХАРЧЕНКО, В.А. ГУСАРОВ, 2015

является общемировым трендом. Преимуществом использования генерирующих мощностей малой мощности, функционирующих в локальных микросетях низкого напряжения, является возможность снижения себестоимости выработки киловатт-часа электроэнергии за счет снижения потерь на передачу электроэнергии, повышения эффективности использования генерирующих мощностей, снижения времени простоя оборудования и сокращения затрат на его обслуживание [3, 7].

Одним из способов, позволяющим снизить себестоимость выработки электроэнергии в микросетях является применение генерирующих мощностей, использующих возобновляемые источники энергии (ветроэнергетические установки, микро- и мини-ГЭС, солнечные электроустановки, газопоршневые установки, использующие биогаз в качестве топлива) [2].

Цель исследований – разработка системы управления, обеспечивающую оптимальные ввод и вывод генерирующих мощностей в зависимости от конкретных условий в каждый момент времени для оптимизации работы распределенной системы с использованием источников генерации на различных физических принципах.

Например, условием для использования ветроэнергетических установок в системе является наличие ветропотока достаточной мощности в данный конкретный момент времени, способного обеспечить нагрузочные требования и обеспечить потребителя электроэнергией, с нормами качества по ГОСТ 13109-97. При снижении мощности ветропотока необходимо осуществить постепенный вывод из генерации ветроэнергетической установки системы с одновременным вводом генерации на основе другого источника энергии в объеме, зависящим от потребности в электроэнергии со стороны потребителя в данный момент времени. Подобное оперативное управление генерацией электроэнергией в зависимости от графиков нагрузки позволит существенным образом снизить себестоимость выработки киловатт-часа за счет максимального использования возобновляемых источников энергии и осуществления оперативного управления генерацией при помощи распределенной системы управления [1, 4].

Результаты исследований. Структурная схема распределенной микросети приведена на рис. 1.

Генерирующие мощности «Генератор 1», «Генератор 2» и «Генератор n» с возможностью управления объединены в единую систему, обеспечивающую электроэнергией потребителей «Потребитель 1», «Потребитель 2» и «Потребитель n». Распределенная система управления обеспечивает управление генерирующими мощностями таким образом, чтобы в каждый конкретный момент времени генерация энергии осуществлялась от источника с минимальной себестоимостью выработки электроэнергии. Отличительной особенностью рассматриваемой системой является отсутствие общего вычислительного центра и необходимости организации информационных каналов связи для обмена управляющей информацией в системе.

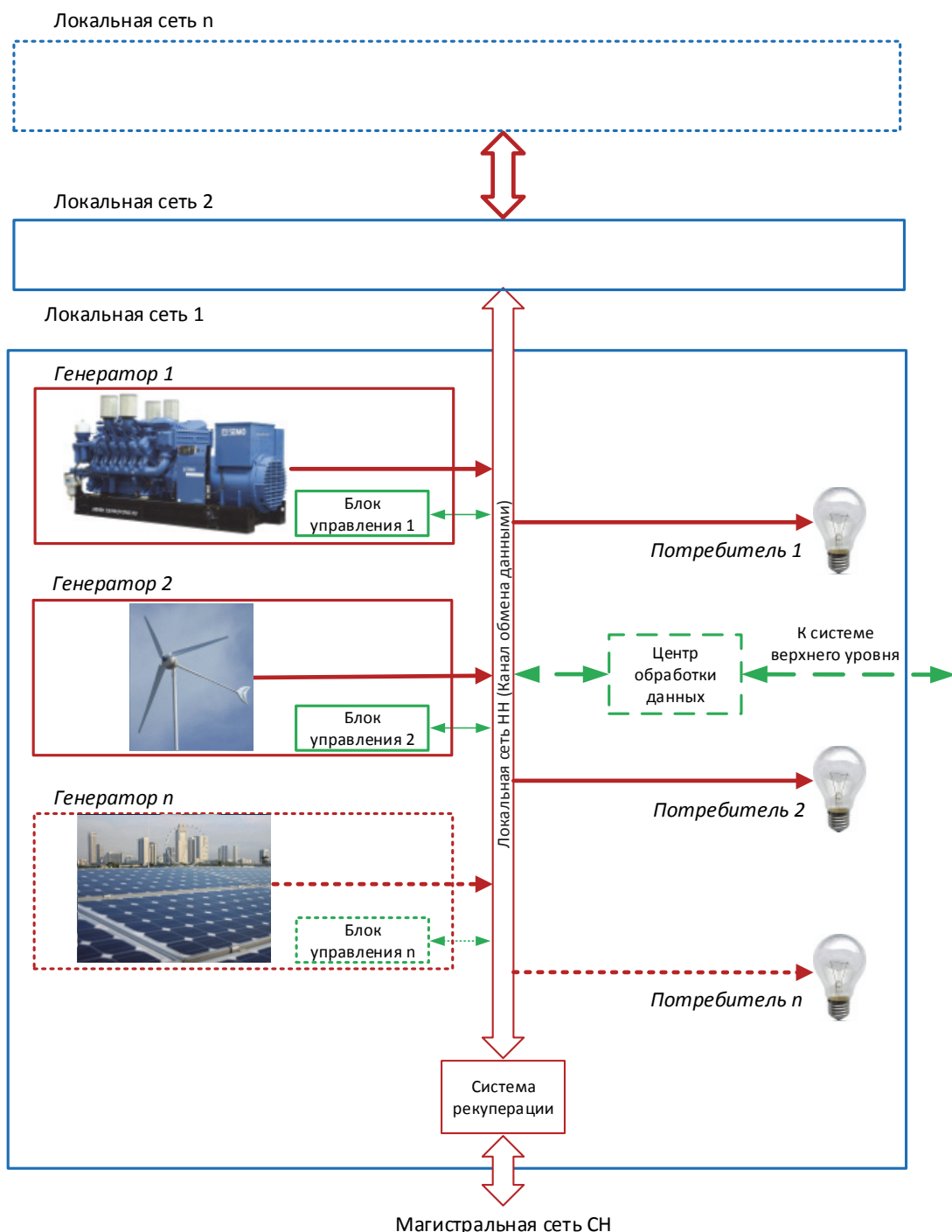


Рис. 1. Структурная схема распределенной микросети

При этом, определенным образом, возможно организовать обмен электроэнергией с магистральными сетями среднего напряжения и осуществить подключение информационной распределенной системы управления к единому диспетчерскому пункту.

Отличительной особенностью использования способа организации информационного обмена и применения распределенной системы управления генерацией является возможность масштабирования микросети и объединения микросетей в энергетические системы, работающие под управлением единого алгоритма управления системой в целом [5].

Использование информационного обмена данными по электрической сети обеспечивает возможность реализации системы генерации электроэнергии, использующей возобновляемые и невозобновляемые источники энергии при совместной работе в единой электрической сети низкого напряжения для выработки электрической энергии и реализующей способ управления генерацией в зависимости от условий выработки и потребления электрической энергии на основе данных датчиков обратной связи. Это обеспечивает снижение себестоимости вырабатываемой электроэнергии и повышение КПД системы в целом с возможностью обмена электроэнергией с энергосетями более высокого уровня [6].

Структурная схема системы, реализующая способ управления генерацией, представлена на рис. 2.

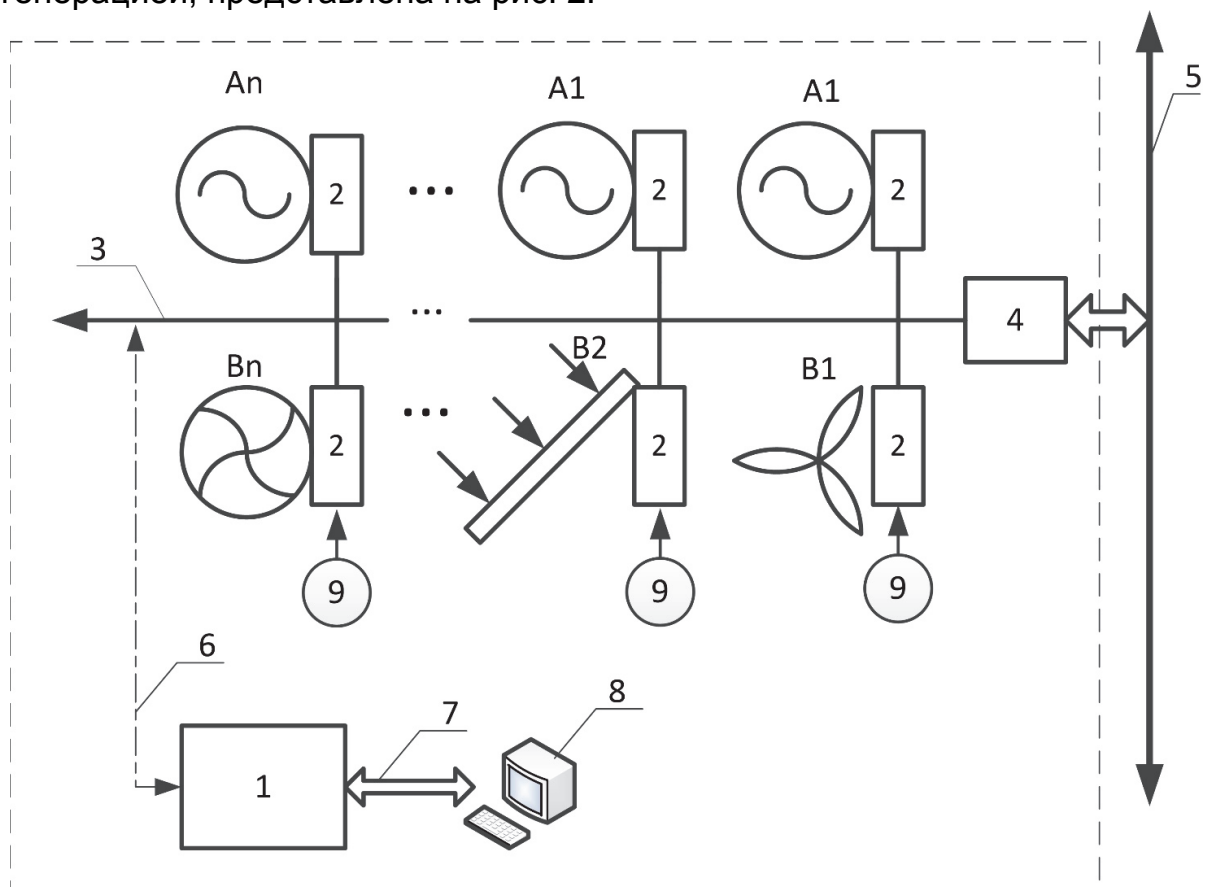


Рис. 2. Структурная схема системы управления генерацией

Способ заключается в анализе данных окружающей среды (направления и скорости ветра, значения солнечной радиации, скорости водного потока, объема и давления биогаза в магистрали), напряжения и частоты на силовом вводе от магистральной линии электропередачи и мощности в нагрузке. На основе полученных данных реализуется алгоритм выбора наиболее оптимального источника генерации для обеспечения потребителя электроэнергией с качеством по ГОСТ 13109 и при наименьшей себестоимости выработки электроэнергии. При

изменении состояния окружающей среды и (или) потребления электроэнергии производится изменение источника генерации.

Система, реализующая заявленный способ, включает стационарную систему управления 1, локальные модули управления 2, которые устанавливаются непосредственно на источники генерации, использующие невозобновляемую энергию $A_1...A_n$ (дизельное топливо, магистральный газ, котельное топливо), а так же на источники генерации, использующие возобновляемую энергию $B_1...B_n$ (ветроустановки, мини-ГЭС, солнечные панели, биогазовые генераторы). Локальные модули управления, устанавливаемые на источники генерации с возобновляемой энергией, осуществляют трансляцию данных от датчиков окружающей среды 9 в стационарную систему управления 1 через информационный канал 6, использующий в качестве среды передачи данных локальную сеть низкого напряжения 3. Все источники генерации объединены в локальную сеть низкого напряжения 3, доставляющую электроэнергию непосредственно к потребителю. Локальная сеть низкого напряжения использует систему обмена электрической энергией 4 с магистральными электросетями среднего или высокого напряжения 5. Стационарная система управления 1 имеет информационный канал 7 для обмена данными и передачи управления системе верхнего уровня 8.

Система, реализующая заявленный способ, работает следующим образом. Электрическая мощность из магистральной сети 5 через систему обмена электрической энергией 4 поступает к потребителям. Стационарная система управления 1 анализирует нагрузку в сети и состояние окружающей среды через датчики 9. При достаточном ветропотоке, солнечной радиации или напоре воды через локальные модули управления 2, установленные у каждого источника генерации в локальную сеть 3 вводится замещающая генерация, при этом мощность магистральной сети выводится таким образом, чтобы в качестве основного источника генерации в микросети максимально использовалась генерация от возобновляемых источников энергии $B_1...B_n$. В случае избытка мощности от локальных возобновляемых источников энергии $B_1...B_n$ осуществляется ее рекуперация через систему обмена электрической энергией 4 в магистральную сеть 5. При пиковой нагрузки в сети, если мощности генерации от возобновляемых источников энергии $B_1...B_n$ недостаточно, а также в случае отсутствия подключения к магистральной сети осуществляется ввод в сеть генерации от источников возобновляемой энергии $A_1...A_n$ таким образом, чтобы преимущество имели источники с более дешевым видом топлива (использование газовой генерации имеет преимущество перед дизельной, дизельная – перед бензиновой). Стационарная система управления 1 осуществляет непрерывное управление источниками генерации $A_1...A_n$ и $B_1...B_n$ таким образом, чтобы в любой момент времени в зависимости от изменения нагрузки в локальной сети 3 осуществлять изменение локальной генерации в сети посредством управления источниками генерации через локальные модули управления 2, а так же обеспечивать оптимальный обмен энергией с сетями более высокого уровня. Каждая подобная локальная система

может встраиваться как элемент более крупной сети и работать под управлением системы верхнего уровня 8 через информационный канал обмена данными 7.

Выводы. Разработана система управления генерацией энергии от возобновляемых и невозобновляемых источников, которая предусматривает оперативное управление генерацией в зависимости от потребления электроэнергии и возможности использования возобновляемых источников энергии. В качестве физической среды для передачи широкополосных сигналов управления генерацией в такой системе планируется использование физической среды передачи электроэнергии.

Список литературы

1.Адомавичюс В.Б. Особенности и проблемы построения микросетей / В.Б. Адомавичюс, В.В. Харченко // Труды 8-й Междунар. науч.-техн. конф. 16–17 мая 2012 г., г. Москва. Ч.5. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. – С.50–57.

2.Гусаров В.А. Использование локальной генерации от возобновляемых источников энергии в тупиковых участках протяженных линий электропередачи низкого напряжения / В.А. Гусаров, С.А. Лапшин, В.В. Харченко // Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология". – 2013. – № 7. – С. 15–18.

3.Долгов И.Ю. Энергопотребление и энергоснабжение в сельскохозяйственном секторе Российской Федерации / И.Ю. Долгов, А.В. Тихомиров, В.В. Харченко. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – № 2. – С. 16.

4.Источники регулируемой мощности в микросетях / В.Б. Адомавичюс, В.В. Харченко, И. Валицкас, В.А. Гусаров // Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология". – 2013. – № 7. – С. 54–59.

5.Лапшин С. А. Система управления генерацией и распределением энергии в локальных сетях низкого напряжения с использованием возобновляемых и невозобновляемых видов энергии / С.А. Лапшин. // Материалы X Международной ежегодной конференции "Возобновляемая и малая энергетика 2013", 17-18 июня 2013 г., г. Москва. – М., 2013.

6.Пат. 2539875 Российская Федерация, МПК H02313/00. Система электроснабжения потребителей в сетях напряжения с использованием возобновляемых и невозобновляемых источников энергии и управлением генерации электроэнергии / Гусаров В.А., Лапшин С.А., Харченко В.В. – №2013113208/07; заявл. 25.03.2013; опубл. 27.01.2015, Бюл. №3.

7.Стребков Д.С. Проект энергетической стратегии сельского хозяйства России // Д.С. Стребков, А.В. Тихомиров, В.В. Харченко. // Техника и оборудование для села. – 2009. – № 2. – С. 12.

Розроблено систему управління генерацією залежно від споживання електроенергії та можливості використання відновлюваних джерел енергії. Як фізичне середовище для передачі широкосмугових сигналів управління генерацією в такій системі планується використання фізичного середовища передачі електроенергії.

Відновлювані джерела енергії, генеруючі потужності, система управління, мережі низької напруги, PLC, розподілена генерація, система управління генерацією, широкосмуговий доступ, ККД.

A system for controlling the generation, depending on the power consumption and the possibility of using renewable energy sources are developed. As a physical medium for the transmission of broadband signals control the generation of such a system is planned to use a physical medium transmission.

Renewable energy generation capacity, control system, low voltage network, PLC, distributed generation, the generation of the control system, broadband access, efficiency.

УДК 62-533.65

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРИ ЕЛЕКТРОПЕЧІ З РІЗНОМАНІТНИМИ АЛГОРИТМАМИ ФАЗЗИ-КЕРУВАННЯ

П.Б. КЛЕНДІЙ, В.Ю. РАМШ, М.В. РУСИНЯК,
кандидати технічних наук

Г.Я. КЛЕНДІЙ, інженер

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

Проаналізовано можливість і доцільність побудови фаззи-регуляторів температури електропечей опору (ЕПО) та впливу на характеристики регулятора температури різноманітних алгоритмів нечіткого керування, що визначаються видом функцій належності і використовуються вхідними сигналами.

Система автоматичного регулювання, електропечі опору, фаззи-регулятор, нечітка логіка, функції належності, показники якості регулювання.

Нині велика увага приділяється вивченню систем керування з використанням математичного апарату нечіткої логіки (фаззи-логіки). Такі системи почали застосовувати для керування різними об'єктами [4].

У роботі [1] були розглянуті основні принципи і правила побудови і функціонування фаззи-регуляторів температури стосовно управління ЕПО.

На рис. 1 наведена функціональна схема нечіткої системи автоматичного регулювання (САР) температури ЕПО, яка за структурою аналогічна традиційній схемі керування і відрізняється тільки алгоритмом функціонування регуляторів. Задане значення температури Θ_3 формується блоком задання Z , на виході елемента порівняння виробляється сигнал розузгодження $\Delta\Theta$ – різниця сигналу задання Θ_3 і сигналу Θ , отриманого від датчика температури ДТ. Керуючим впливом є потужність P на виході

Відновлювані джерела енергії, генеруючі потужності, система управління, мережі низької напруги, PLC, розподілена генерація, система управління генерацією, широкосмуговий доступ, ККД.

A system for controlling the generation, depending on the power consumption and the possibility of using renewable energy sources are developed. As a physical medium for the transmission of broadband signals control the generation of such a system is planned to use a physical medium transmission.

Renewable energy generation capacity, control system, low voltage network, PLC, distributed generation, the generation of the control system, broadband access, efficiency.

УДК 62-533.65

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРИ ЕЛЕКТРОПЕЧІ З РІЗНОМАНІТНИМИ АЛГОРИТМАМИ ФАЗЗИ-КЕРУВАННЯ

П.Б. КЛЕНДІЙ, В.Ю. РАМШ, М.В. РУСИНЯК,
кандидати технічних наук

Г.Я. КЛЕНДІЙ, інженер

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

Проаналізовано можливість і доцільність побудови фаззи-регуляторів температури електропечей опору (ЕПО) та впливу на характеристики регулятора температури різноманітних алгоритмів нечіткого керування, що визначаються видом функцій належності і використовуються вхідними сигналами.

Система автоматичного регулювання, електропечі опору, фаззи-регулятор, нечітка логіка, функції належності, показники якості регулювання.

Нині велика увага приділяється вивченню систем керування з використанням математичного апарату нечіткої логіки (фаззи-логіки). Такі системи почали застосовувати для керування різними об'єктами [4].

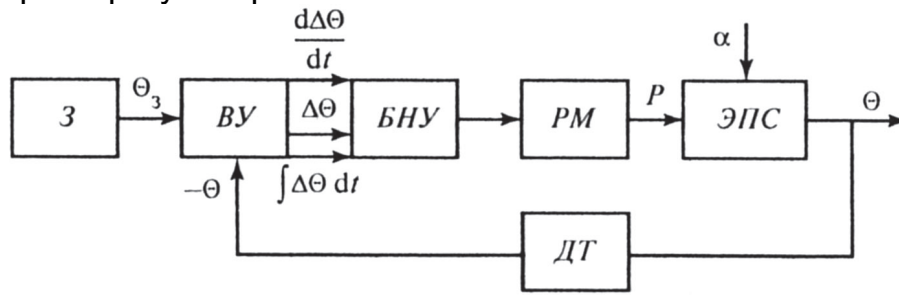
У роботі [1] були розглянуті основні принципи і правила побудови і функціонування фаззи-регуляторів температури стосовно управління ЕПО.

На рис. 1 наведена функціональна схема нечіткої системи автоматичного регулювання (САР) температури ЕПО, яка за структурою аналогічна традиційній схемі керування і відрізняється тільки алгоритмом функціонування регуляторів. Задане значення температури Θ_3 формується блоком задання Z , на виході елемента порівняння виробляється сигнал розузгодження $\Delta\Theta$ – різниця сигналу задання Θ_3 і сигналу Θ , отриманого від датчика температури ДТ. Керуючим впливом є потужність P на виході

виконавчого пристрою – регулятора потужності PM . При моделюванні враховується збурення α .

Обчислювальний пристрій BV , в системі що розглядається, виконує функції попередньої обробки і розраховує необхідні значення вхідних сигналів фаззи-регулятора. Сигнали з виходу BV надходять на блок, який реалізує нечітке керування БНК.

Властивості і можливі варіанти побудови систем керування визначаються видами функцій належності і використовуваними вхідними сигналами фаззи-регулятора.



ЕП

Рис. 1. Функціональна схема нечіткої системи автоматичного регулювання температури ЕПО

У САР температури ЕПО можна використовувати такі вхідні сигнали фаззи-регулятора (табл. 1).

Використовувані вхідні сигнали фаззи-регулятора

Відхилення температури	Відхилення температури і похідна відхилення температури	Відхилення температури та інтеграл від відхилення температури
$\Delta\Theta$	$\Delta\Theta, \frac{d\Delta\Theta}{dt}$	$\Delta\Theta, \int \Delta\Theta dt$

Далі порівняльні дослідження проводяться з наведеними видами сигналів.

Формальне визначення нечіткої множини не накладає ніяких обмежень на вибір конкретної функції належності, тобто такої функції $\mu_A(x)$ (рис. 2) нечіткої множини A , яка ставить у відповідність кожному із елементів x дійсне число з інтервалу $[0; 1]$ для його представлення. На практиці зручно використовувати ті з них, які можуть бути аналітично представлені простою математичною функцією. Це спрощує не тільки відповідні числові розрахунки, але й скорочує обчислювальні ресурси регуляторів, необхідні для зберігання окремих значень цих функцій належності. Відповідно, вибір виду функції належності в системі нечіткого керування є важливою задачею проектування фаззи-регулятора. Для систем керування технологічними об'єктами [3] найдоцільнішим вважається використання видів функцій, графічне представлення та аналітичний опис яких наведено в табл. 2.

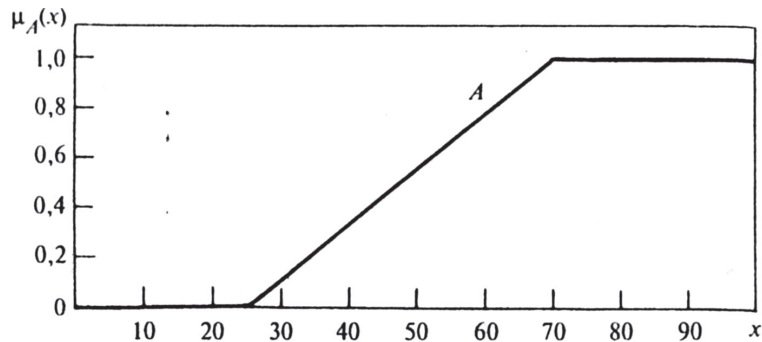


Рис. 2. Функція належності нечіткої множини A

Види функцій належності, які використовуються в САР

Вид функції	Графічне представлення	Аналітична формула
Трикутна		$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c, \\ 0, & c \leq x \end{cases}$
Симетрична гаусівська		$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}$
Узагальнена дзвоноподібна		$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left \frac{x-c}{a} \right ^{2b}}$

Основний вибір виду функцій належності і вхідних сигналів для конкретного регулятора температури доцільно провести на основі дослідження якості і точності регулювання.

Мета досліджень – побудова фаззі-регулятора температури електродіагностики опору (ЕПО) та визначення раціонального алгоритму нечіткого керування.

Матеріали та методика досліджень. Система з фаззі-логікою є суттєво нелінійною і не може бути досліджена аналітично, тому був використаний метод структурного моделювання в програмному пакеті MatLAB, додатках Simulink, Fuzzy Logic Toolbox, необхідних для аналізу і синтезу систем керування, заснованих на нечіткій логіці [2].

З метою узагальнення одержаних результатів моделювання було виконано у доволі відносних одиницях: температури $\Theta^*(t)$, потужності $P^*(t)$ і часу τ .

Як базові величини були використані:

1) номінальна потужність, яка вводиться в піч, $P_{\bar{\theta}} = P_{ном}$;

2) номінальна температура в печі $\Theta_{\bar{\theta}} = \Theta_{ном}$;

3) постійний час печі $T_{\bar{\theta}} = T_{ном}$.

Відносні величини визначалися за такими виразами:

- потужність, яка вводилася в піч, $P^* = P / P_{\bar{\theta}}$;
- температура в печі $\Theta^* = \Theta / \Theta_{\bar{\theta}}$;
- відносний час процесу $\tau = t / T_{\bar{\theta}}$;
- збурення, яке вводиться в піч, $\alpha^* = P^*$.

Дослідження проводилися при типових діапазонах зміни параметрів і величин. Для забезпечення однакової швидкості процесів нагрівання і остигання печі потужність регулятора була прийнята з запасом: $\frac{P_{max}}{P_{ном}} \geq 2$,

де $P_{max}, P_{ном}$ – максимальна і номінальна потужність регулятора відповідно. В процесі дослідження максимальна потужність регулятора $P_{max} = 2 = const$.

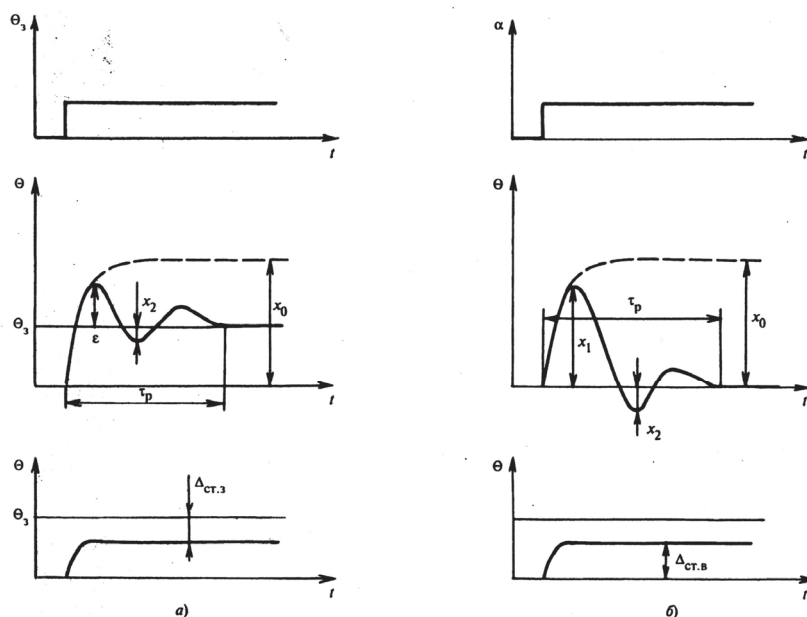


Рис. 3. Показники якості регулювання температури при обробці задаючого (а) і збурюючого (б) впливів

Діапазони зміни параметрів:

- потужність, яка вводиться в піч, $0 \leq P^* \leq 2$;
 - задане значення температури $0 \leq \Theta_3^* \leq 1$;
 - збурюючий вплив (із практики [5]) $0 \leq \alpha^* \leq 0,5$;
- як типовий був прийнятий режим, для якого характерні такі параметри:
- максимальна потужність регулятора $P_{max}^* = 2$;
 - задане значення температури $\Theta_3^* = 1$;
 - збурюючий вплив $\alpha^* = 0,5$.

У процесі дослідження на моделі розраховувались перехідні функції зміни температури $\Theta^*(t)$ і потужності $P^*(t)$, яка вводиться в піч при ступінчастій зміні температури задання $\Theta_3^*(t)$, і збурюючого впливу $\alpha^*(t)$.

За цими графіками (рис. 3) були визначені такі показники якості і точності регулювання:

- максимальне динамічне відхилення температури x_1 від заданого значення при однократному ступінчастому збуренні α і максимальне перерегулювання ε при відробці ступінчастого задаючого впливу Θ_3 ;

- динамічний коефіцієнт регулювання R_δ , який характеризує степінь впливу регулятора, $R_\delta = x_1 / x_0$;

- коефіцієнт згасання k_3 – відношення другої (протилежно направленої) амплітуди коливань до першої максимальної амплітуди;

$$k_3 = x_1 / x_2,$$

- степінь, що характеризує коливання перехідного процесу;

- час регулювання τ_p – тривалість перехідного процесу від моменту подачі задаючого або збурюючого впливу до стабілізації температури на заданому значенні (з відомим ступенем точності);

- статична похибка за заданням $\Delta_{ст.з}$ і за збуренням $\Delta_{ст.в}$ – відхилення значення температури, яке встановилося від заданого значення при відпрацюванні відповідно задаючого і збурюючого впливу.

Показники якості залежать від динамічних властивостей об'єкта, задаючого і збурюючого впливу, закону регулювання, чутливості і налаштувань регулятора. Розглянуті показники якості перехідних процесів використовувалися у роботі для порівняльного аналізу традиційного пропорційно-інтегрально-диференційного регулятора (ПІД-регулятора) температури і фаззи-регуляторів із різними вхідними сигналами і видами функцій належності.

Результати досліджень. Якість і точність регулювання температури ЕПО за допомогою фаззи-регулятора практично не залежать від виду функцій належності і вхідних сигналів (табл.3). Ця обставина дозволяє рекомендувати для практичної реалізації фаззи-регулятор з мінімальною складністю алгоритму керування, тобто регулятор, побудований за допомогою трикутних функцій належності і відхиленнями температури як і вхідного сигналу.

Очевидно, що остаточна думка про доцільність вибору того або іншого фаззи-регулятора температури можна зробити тільки після оцінки часової ємнісної складності (загальної пам'яті, необхідної для реалізації алгоритму) запропонованих алгоритмів керування, які визначались за методикою.

Часова складність нечітких алгоритмів оцінювалася за формулою:

$$\Theta FLC = \sum_{i=1}^{n_x} m_x \Theta MF_i + n_r [(G+1)a_l + Ga_l] + n_z (2Ga_D + Gb_D + c_D)$$

Показники якості регулювання перехідних процесів в нечіткій і традиційній САР ЕПО

Показник якості регулювання	Фаззі-регулятор температури ЕПО		Підрегулятор температури ЕПО						
	Види функцій належності		Дзвоноподібна						
	Трикутна	Гаусівська							
	Вхідні сигнали регулятора								
$\Delta\Theta$	$\Delta\Theta, \frac{d\Delta\Theta}{dt}$	$\Delta\Theta$	$\int \Delta\Theta dt$	$\Delta\Theta$	$\Delta\Theta, \frac{d\Delta\Theta}{dt}$	$\Delta\Theta$	$\Delta\Theta, \int \Delta\Theta dt$	$\Delta\Theta$	
Максимальне динамічне відхилення температури від заданого значення $x_1, \%$	0,014	0,043	0,043	0,012	0,046	0,044	0,050	0,045	2,850
Перерегулювання $\varepsilon, \%$	0,057	0,171	0,171	0,048	0,185	0,177	0,045	0,180	5,000
Динамічний коефіцієнт регулювання R_d	0,999	0,998	0,998	0,999	0,998	0,998	0,999	0,998	0,952
Коефіцієнт згасання k_3	0	0	0	0	0	0	0	0	1,05
Час регулювання τ_p	2,20	2,32	2,32	2,23	2,35	2,35	2,25	2,38	2,50

де n_x – число вхідних змінних; n_r – число правил; n_z – число вихідних змінних; G – число точок дискретизації вихідної функції належності; m_x – число нечітких наборів вихідних змінних; Θ_{MF_i} – середня часова трудоемність обчислення функції належності трикутної $\Theta_{MF} = 2a_F + b_F$; гаусівської $\Theta_{MF} = a_F + 3b_F + c_F + e_F$; дзвоноподібної $\Theta_{MF} = 2a_F + 2b_F + 2c_F + d_F$; a, b, c, d, e – параметри (з відповідними індексами), які визначають часову складність виконання елементарних операцій при визначенні часової складності обчислень, тут a – додавання/віднімання/порівняння; b – множення; c – ділення; d – степенева функція; a_F, a_I, a_D – часова складність елементарної операції на етапі фазифікації, логічного виходу і дефазифікації відповідно.



Рис. 4. Діаграми часової складності реалізації алгоритмів нечіткої САР

Як впливає із наведених на рис.4 діаграм, з ускладненням виду функції належності збільшується час реалізації алгоритму керування для всіх сигналів, які подаються на вхід фаззи-регулятора. Найменше часу для реалізації алгоритму потрібно для фаззи-регулятора, де як вхідна величина застосовується відхилення температури при трикутній формі функції належності. Характерно, що при використанні як вхідних сигналів, відхилення та інтегралу відхилення температури, час реалізації алгоритму виявляється інваріантним відносно виду вхідних сигналів фаззи-регулятора.

При оцінці ємнісної складності обчислення нечітких алгоритмів визначалися такі складові загального об'єму пам'яті:

оперативна пам'ять

$$n_x l_A + \sum_{i=1}^{n_x} m_x l_B + n_r l_D + n_r G l_E + G l_H + 2l_M + n_z l_N ;$$

пам'ять констант

$$4 \sum_{i=1}^{n_x} m_x l_C + m_z G l_F + G l_k ,$$

де $l_{A,\dots,K}$ – об'єм використовуваної пам'яті для представлення змінної типу A,\dots,K .

На рис. 5 наведено діаграми, які ілюструють ємнісну складність обчислень нечітких алгоритмів. Оскільки складові загального об'єму пам'яті не залежать від типу функції належності, діаграми побудовані тільки для алгоритмів на основі трикутних функцій. Ємнісна складність алгоритму з відхиленням і диференціалом відхилення та відхиленням і інтегралом відхилення температури як вхідних сигналів аналогічні. Мінімальний об'єм загальної пам'яті має регулятор температури, де як вхідний сигнал використовується відхилення температури, а функція належності має найпростішу трикутну форму.

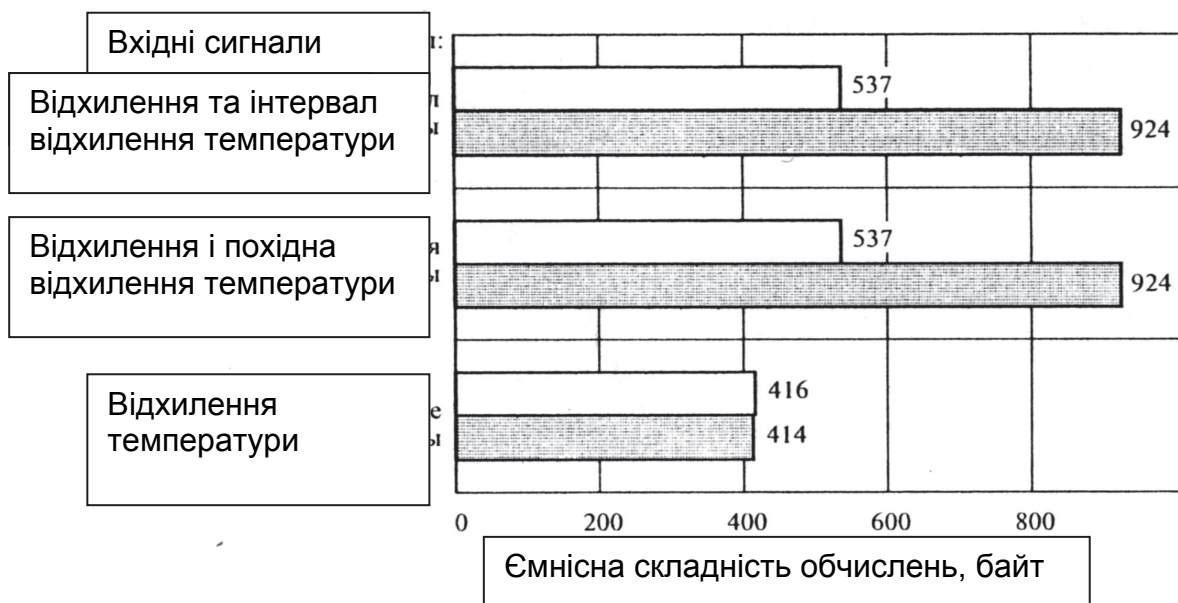


Рис. 5. Діаграми ємнісної складності обчислення алгоритмів нечіткої САР ЕПО

Висновки

1. Встановлена можливість і доцільність побудови фаззи-регулятора температури ЕПО, який покращує показники якості і точності регулювання в порівнянні з традиційним ПІД-регулятором температури.
2. Доведена інваріантність показників якості регулювання фаззи-регулятора температури ЕПО від виду функцій належності і використовуваних вхідних сигналів, що дозволяє рекомендувати до застосування найпростіші функції належності, наприклад трикутні, для яких обчислювальна потужність алгоритму керування мінімальна.
3. Аналіз обчислювальної потужності показав, що використання більш складних (ніж трикутна) функцій належності призводить до збільшення часової та ємнісної складності реалізації нечітких алгоритмів, що нівелює їх позитивний вплив на якість регулювання в САР ЕПО.

Список літератури

1. Кирик В.В. Регулювання змінної напруги на нагрівальних елементах електропечі опору з використанням нечіткого логічного контролера / В.В. Кирик // Наук. пр. ІЕД НАН України. – К, 2004. – №1(7). – С.95–98.
2. Леоненков А.А. Нечеткое моделирование в среде Matlab и Fuzzy Tech / А.А. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 725 с.
3. Семенцов Г.Н. Аналіз і вибір форми функцій належності для фазифікації вхідних сигналів систем контролю і управління / Г.Н. Семенцов, О.В. Фадєєва // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. Технічні науки. – 2006. – №1. – С.219–225.
4. FUZZY- системи – новий технологічний інструмент управління / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, К.О. Липківський, В.В. Кирик // Технічна електродинаміка. – 2001. – №3. – С. 17–20.

Проанализирована возможность и целесообразность построения фазы - регуляторов температуры электропечей сопротивления (ЭПО) и влияния на характеристики регулятора температуры различных алгоритмов нечеткого управления, определяемых видом функций принадлежности и используемых входными сигналами.

Система автоматического регулирования, электропечи сопротивления, фазы-регулятор, нечеткая логика, функции принадлежности, показатели качества регулирования.

The possibility and feasibility of constructing phase -controller electric resistance (EPO) and the impact on the Temperature characteristics of various fuzzy control algorithms that define the type of membership functions and input signals used.

Automatic adjustment, electric resistance, fuzzy controller, fuzzy logic, membership function, quality regulation.

УДК519.23

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВОГО СЛОЯ ПРИ СВЧ-КОНВЕКТИВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

**Д.А. БУДНИКОВ, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва**

Приведены результаты исследований динамических свойств зерновой массы при СВЧ-конвективной сушке. Установлено, что для качественного описания поведения зернового слоя при нахождении переходной функции требуется уравнение третьей степени.

СВЧ-конвективная сушка, послеуборочная обработка, динамические свойства, идентификация.

© Д.А. БУДНИКОВ, 2015

Список літератури

1. Кирик В.В. Регулювання змінної напруги на нагрівальних елементах електропечі опору з використанням нечіткого логічного контролера / В.В. Кирик // Наук. пр. ІЕД НАН України. – К, 2004. – №1(7). – С.95–98.
2. Леоненков А.А. Нечеткое моделирование в среде Matlab и Fuzzy Tech / А.А. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 725 с.
3. Семенцов Г.Н. Аналіз і вибір форми функцій належності для фазифікації вхідних сигналів систем контролю і управління / Г.Н. Семенцов, О.В. Фадєєва // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. Технічні науки. – 2006. – №1. – С.219–225.
4. FUZZY- системи – новий технологічний інструмент управління / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, К.О. Липківський, В.В. Кирик // Технічна електродинаміка. – 2001. – №3. – С. 17–20.

Проанализирована возможность и целесообразность построения фазы - регуляторов температуры электропечей сопротивления (ЭПО) и влияния на характеристики регулятора температуры различных алгоритмов нечеткого управления, определяемых видом функций принадлежности и используемых входными сигналами.

Система автоматического регулирования, электропечи сопротивления, фазы-регулятор, нечеткая логика, функции принадлежности, показатели качества регулирования.

The possibility and feasibility of constructing phase -controller electric resistance (EPO) and the impact on the Temperature characteristics of various fuzzy control algorithms that define the type of membership functions and input signals used.

Automatic adjustment, electric resistance, fuzzy controller, fuzzy logic, membership function, quality regulation.

УДК519.23

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВОГО СЛОЯ ПРИ СВЧ-КОНВЕКТИВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

**Д.А. БУДНИКОВ, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва**

Приведены результаты исследований динамических свойств зерновой массы при СВЧ-конвективной сушке. Установлено, что для качественного описания поведения зернового слоя при нахождении переходной функции требуется уравнение третьей степени.

СВЧ-конвективная сушка, послеуборочная обработка, динамические свойства, идентификация.

© Д.А. БУДНИКОВ, 2015

Для построения оптимальных конструкций энергосберегающих установок по сушке продуктов сельскохозяйственного производства необходимо иметь представление о динамических свойствах обрабатываемого объекта. Отсутствие этих данных ведет к перерасходу энергоресурсов, а также снижению качества конечной продукции. Таким образом, сведения о том, что сушка является одним из наиболее энергоемких процессов при производстве зерновых, что и определяет актуальность данного исследования.

Исследования динамических свойств зерновых материалов при проведении процесса сушки проводятся для установок конкретного типа. В настоящее время существуют данные, полученные для шахтных зерносушилок, установок активного вентилирования и прочих [1, 8–11]. Исследователями получены динамические характеристики, а также регрессионные модели для большого количества культур. Так, учеными Калифорнийского университета и Западного регионального исследовательского центра (США) приведены зависимости для описания процесса сушки риса различного сорта в тонком слое [9]. Проводимые исследования [8–11] позволяют судить о том, что для разработки управляющих систем сушильного оборудования необходимо детальное изучение поведения различных культур при воздействии всего многообразия существующих факторов, воздействующих на зерновой материал в процессе сушки. Большой интерес вызывает использование СВЧ-конвективного воздействия, хотя данные по поведению зернового слоя при таком виде обработки еще не полны. Это связано с тем, что установки данного типа пока не получили широкого применения в связи с невысокой производительностью, повышенными требованиями к квалификации обслуживающего персонала и т.д.

Цель исследований – получение динамических свойств зернового слоя при СВЧ-конвективном воздействии. При этом зерновой слой выступает в качестве объекта управления, а выраженная в той или иной форме информация о наиболее существенных характеристиках объекта является моделью.

Зерновой слой, как объект управления является динамическим объектом, т.е. объектом, выход которого зависит не только от текущего значения входных сигналов, но и от их значений в предыдущие моменты времени.

Материалы и методика исследований. Анализ динамических характеристик проводился для плотного неподвижного зернового слоя, подвергающегося СВЧ-конвективному воздействию. Схема лабораторной установки приведена на рис. 1. Параметры установки следующие: размеры зоны СВЧ-конвективного воздействия, заполненной зерном 200×200×300 мм, мощность магнетрона $P_c=900$ Вт, скорость фильтрации воздуха через зерновой слой $V=0,6$ м/с. Условия проведения экспериментов: температура наружного воздуха (агента сушки) $T=18$ °С, обрабатываемая культура – пшеница, влажность зернового материала $W = 12–20$ % с шагом 2 %; вентиляция проводилась непрерывно,

воздействие СВЧ-полем – в импульсном режиме (5 с СВЧ включено, 10 с выключено). Удельная мощность электромагнитного поля, рассеиваемая в конкретной точке, определяется в зависимости от исходной влажности обрабатываемого материала. В качестве функции отклика выбрана температура зернового материала θ .

Для определения удельной мощности в конкретной точке было разработано «Устройство для определения величины удельной мощности электромагнитного поля СВЧ выделяемой в зерновом слое» (рис. 2).



Рис. 1. Лабораторная установка:

1 – нагнетающий вентилятор; 2 – блок ТЭНов; 3 – магнетрон; 4 – зона СВЧ-конвективного воздействия; 5 – модули сбора сигналов

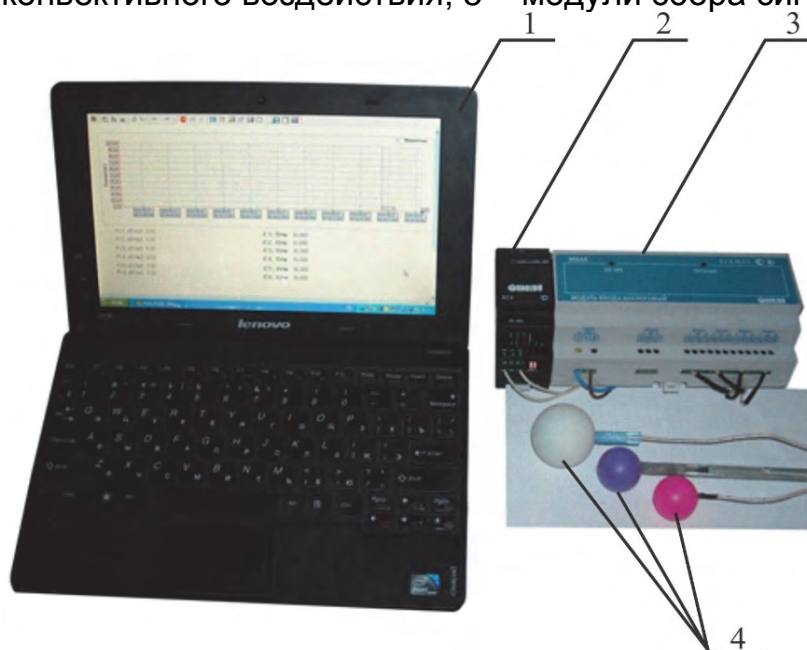


Рис. 2. Устройство для определения величины удельной мощности электромагнитного поля СВЧ, выделяемой в зерновом слое:

1 – ПК, в котором реализуется алгоритм измерения; 2 - преобразователь интерфейсов; 3 – модуля ввода сигналов (до 8 датчиков); 4 – датчики

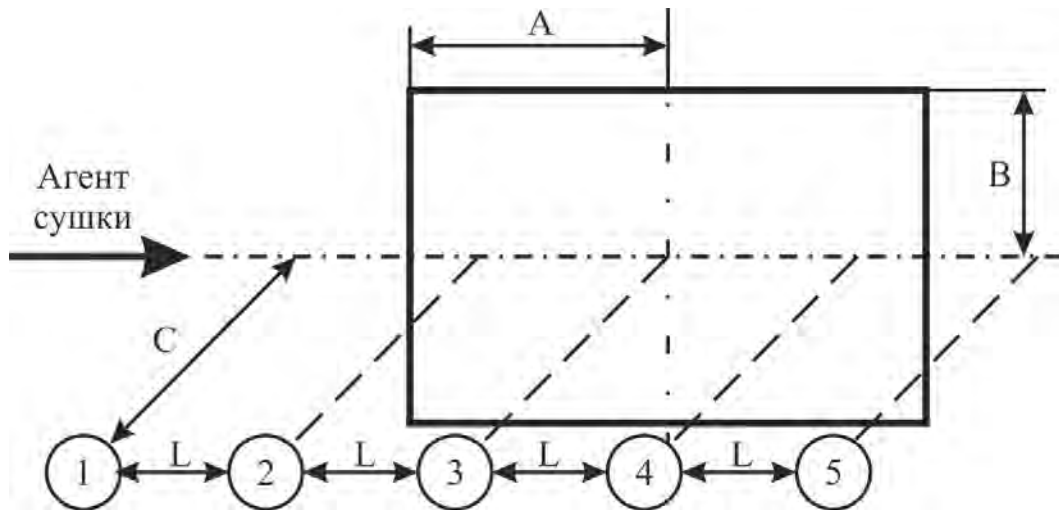


Рис. 3. Схема расположения датчиков

Результаты исследований. Пример результатов измерения представлен на рис. 4.

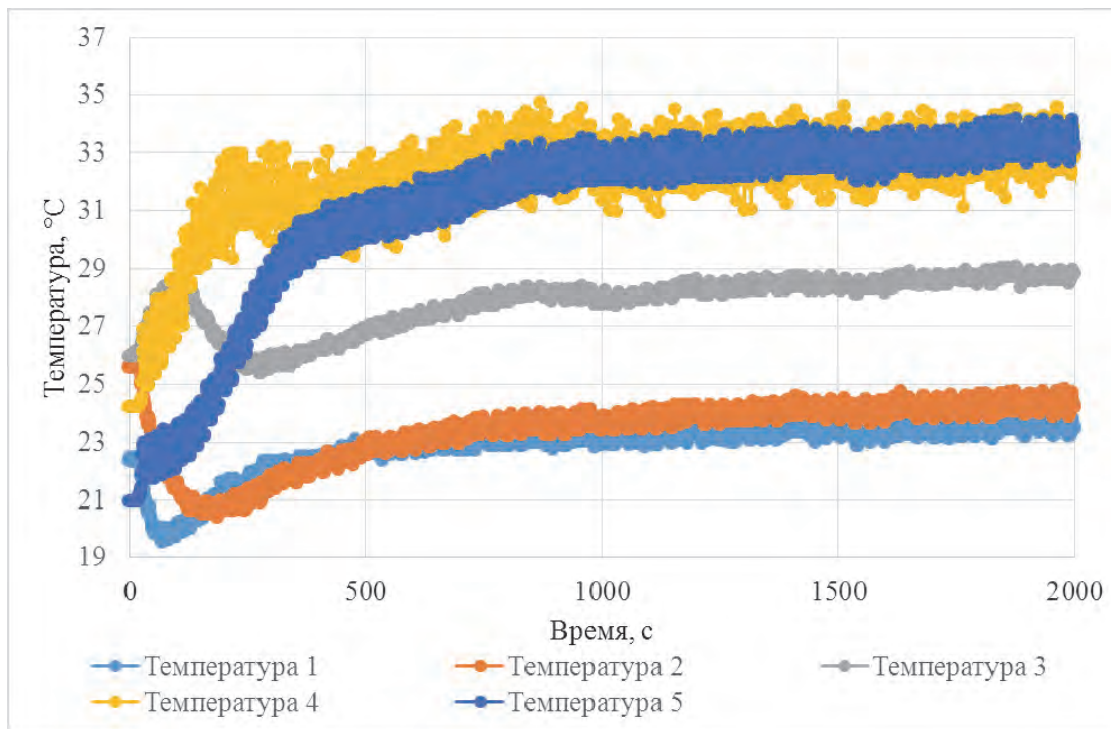


Рис. 4. Результаты эксперимента при $W=18\%$

ARX-модель представляется в виде:

$$A(z)y(t)=B(z)u(t)+e(t),$$

или в развернутом виде:

$$y(t)+a_1y(t-1)+\dots+a_ny(t-n)=b_1u(t)+b_2u(t-1)+\dots+b_nu(t-m)+e(t).$$

Кроме полиномиального анализа были получены передаточные функции. Общий вид передаточной функции в виде Process Models имеет вид:

$$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp1 \cdot s} \cdot e^{-Td \cdot s}.$$

Пример коэффициентов для него приведен в табл. 1.

На конечном этапе провели оценку порядка параметрической модели, сравнение моделей и оценку их адекватности. Модели, описывающие динамические свойства слоя пшеницы при СВЧ-конвективном воздействии, полученные в результате анализа экспериментальных данных, частично приведены в табл. 2.

1. Коэффициенты Process Models для зернового слоя

W, %	№ датчика	Kp	Тр1	Td
16	1	0,54795	935,59	23,935
16	2	0,68909	527,15	11,765
16	3	0,048423	189,0945	12,523
16	4	0,12185	121,3217	0
16	5	0,945976	217,8842	27,169

Пример передаточных функции, полученных для зернового слоя, приведен в табл. 3.

3. Передаточные функции для зернового слоя

W, %	№ датчика	Передаточная функция
18	1	$\frac{0,0007082s + 0,00002612}{s^3 + 0,1965s^2 + 0,01082s + 0,00003605}$
18	2	$\frac{0,0003572s + 0,0000001305}{s^3 + 0,09751s^2 + 0,003184s + 1,281 \cdot 10^{-16}}$
18	3	$\frac{0,0002381s + 0,000004202}{s^3 + 0,1103s^2 + 0,003803s + 0,00004475}$
18	4	$\frac{0,00195s + 0,0000001137}{s^2 + 0,01233s + 6,368 \cdot 10^{-8}}$
18	5	$\frac{0,003081s + 0,0001449}{s^2 + 1,155s^2 + 0,05545s + 0,0001584}$
20	1	$\frac{0,001013s + 0,00001706}{s^3 + 0,5045s^2 + 0,0134s + 0,00002328}$
20	2	$\frac{0,1657s + 0,0003007}{s^3 + 363,9s^2 + 1,901s + 0,00225}$
20	3	$\frac{0,000119s + 0,00000001928}{s^3 + 0,03695s^2 + 0,0014s + 6,386 \cdot 10^{-10}}$
20	4	$\frac{0,0002665s + 0,000007215}{s^3 + 2,489s^2 + 0,03218s + 0,00004237}$
20	5	$\frac{0,0008347s + 0,00003231}{s^3 + 0,3773s^2 + 0,01553s + 0,00003815}$

2. Результаты полиномиального анализа в System Identification Toolbox

W, %	№ дат- чика	Тип модели		
		арх441	арх332	арх223
12	1	$A(z)=1-1,287z^{-1}+0,429z^{-2}-0,2159z^{-3}+0,09211z^{-4}$ $B(z)=0,0006701z^{-1}-0,0003012z^{-2}-0,0002491z^{-3}-0,0005811z^{-4}$	$A(z)=1-1,342z^{-1}+0,430z^{-2}-0,07237z^{-3}$ $B(z)=0,0001748z^{-2}-0,0002074z^{-3}-0,0006489z^{-4}$	$A(z)=1-1,336z^{-1}+0,3525z^{-2}$ $B(z)=-0,0001427z^{-3}-0,0006153z^{-4}$
12	2	$A(z)=1-1,346z^{-1}+0,5244z^{-2}-0,2514z^{-3}+0,09399z^{-4}$ $B(z)=0,0003436z^{-1}-0,0003296z^{-2}-0,00002616z^{-3}-0,00007604z^{-4}$	$A(z)=1-1,373z^{-1}+0,498z^{-2}-0,1049z^{-3}$ $B(z)=-0,00005863z^{-2}-0,001846z^{-3}-0,00008234z^{-4}$	$A(z)=1-1,322z^{-1}+0,3444z^{-2}$ $B(z)=-0,0003183z^{-3}-0,00007325z^{-4}$
12	3	$A(z)=1-1,344z^{-1}+0,555z^{-2}-0,2907z^{-3}+0,09358z^{-4}$ $B(z)=0,00004234z^{-1}+0,000007242z^{-2}-0,00001376z^{-3}-0,00003747z^{-4}$	$A(z)=1-1,436z^{-1}+0,5824z^{-2}-0,1334z^{-3}$ $B(z)=0,00002683z^{-2}-0,00001128z^{-3}-0,00003976z^{-4}$	$A(z)=1-1,447z^{-1}+0,4596z^{-2}$ $B(z)=-0,00000177z^{-3}-0,00003852z^{-4}$
12	4	$A(z)=1-0,92z^{-1}+0,08925z^{-2}-0,02725z^{-3}+0,1844z^{-4}$ $B(z)=0,00004234z^{-1}+0,000007242z^{-2}-0,00001376z^{-3}-0,00003747z^{-4}$	$A(z)=1-1,279z^{-1}+0,7614z^{-2}-0,4598z^{-3}$ $B(z)=0,0005334z^{-2}-0,0002439z^{-3}-0,0003656z^{-4}$	$A(z)=1-1,507z^{-1}+0,5321z^{-2}$ $B(z)=-0,0001467z^{-3}-0,0003056z^{-4}$
12	5	$A(z)=1-1,4z^{-1}+0,5588z^{-2}-0,2327z^{-3}+0,07647z^{-4}$ $B(z)=-0,0001911z^{-1}-0,00009827z^{-2}-0,00001106z^{-3}-0,0001852z^{-4}$	$A(z)=1-1,39z^{-1}+0,5242z^{-2}-0,1315z^{-3}$ $B(z)=-0,0002345z^{-2}-0,000083z^{-3}-0,0001699z^{-4}$	$A(z)=1-1,35z^{-1}+0,3521z^{-2}$ $B(z)=-0,0002023z^{-3}-0,00008896z^{-4}$
14	1	$A(z)=1-1,546z^{-1}+0,9718z^{-2}-0,6814z^{-3}+0,3435z^{-4}$ $B(z)=-0,0004318z^{-1}-0,0001135z^{-2}-0,001354z^{-3}-0,0001852z^{-4}$	$A(z)=1-1,507z^{-1}+0,7711z^{-2}-0,1947z^{-3}$ $B(z)=0,0003982z^{-2}-0,001739z^{-3}+0,0003682z^{-4}$	$A(z)=1-1,404z^{-1}+0,4886z^{-2}$ $B(z)=-0,001329z^{-3}+0,0003492z^{-4}$
14	2	$A(z)=1-1,578z^{-1}+0,9435z^{-2}-0,5145z^{-3}+0,2326z^{-4}$ $B(z)=-0,000005526z^{-1}-0,0001168z^{-2}-0,00004932z^{-3}+0,00005697z^{-4}$	$A(z)=1-1,543z^{-1}+0,7708z^{-2}-0,1599z^{-3}$ $B(z)=-0,00007289z^{-2}-0,0001106z^{-3}+0,00005382z^{-4}$	$A(z)=1-1,476z^{-1}+0,5656z^{-2}$ $B(z)=-0,0001585z^{-3}+0,00008151z^{-4}$
14	3	$A(z)=1-1,58z^{-1}+0,907z^{-2}-0,4388z^{-3}+0,1849z^{-4}$ $B(z)=0,0002176z^{-1}-0,0002239z^{-2}-0,0000742z^{-3}-0,000001471z^{-4}$	$A(z)=1-1,45z^{-1}+0,4891z^{-2}+0,01823z^{-3}$ $B(z)=-0,000005608z^{-2}-0,00009498z^{-3}+0,000005342z^{-4}$	$A(z)=1-1,451z^{-1}+0,5081z^{-2}$ $B(z)=-0,0000952z^{-3}+0,00000253z^{-4}$
14	4	$A(z)=1-1,625z^{-1}+1,051z^{-2}-0,5935z^{-3}+0,1857z^{-4}$ $B(z)=0,000008551z^{-1}-0,00008586z^{-2}+0,00008378z^{-3}-0,00008606z^{-4}$	$A(z)=1-1,571z^{-1}+0,8917z^{-2}-0,3065z^{-3}$ $B(z)=-0,00006331z^{-2}+0,00005635z^{-3}-0,00007751z^{-4}$	$A(z)=1-1,441z^{-1}+0,4636z^{-2}$ $B(z)=-0,000003455z^{-3}-0,00005538z^{-4}$
14	5	$A(z)=1-1,69z^{-1}+1,148z^{-2}-0,661z^{-3}+0,2059z^{-4}$ $B(z)=-0,0005479z^{-1}-0,0006393z^{-2}-0,0002432z^{-3}-0,0004197z^{-4}$	$A(z)=1-1,64z^{-1}+0,9801z^{-2}-0,3386z^{-3}$ $B(z)=-0,0008764z^{-2}-0,0003862z^{-3}-0,0004756z^{-4}$	$A(z)=1-1,499z^{-1}+0,5046z^{-2}$ $B(z)=-0,001124z^{-3}+0,000003138z^{-4}$

Выводы. Динамические свойства зернового материала изменяются в зависимости от продвижения по толщине в направлении вентиляции при равных значениях удельной мощности электромагнитного поля.

Проведение идентификации зернового слоя как объекта управления позволяет получить широкий спектр характеристик: переходных, полиномиальных, частотных и т.д.

При проведении идентификации объекта необходимо отслеживать качественную оценку, определяющую наиболее простую зависимость, с достаточной точностью описывающую изучаемый процесс.

В большинстве случаев для качественного описания (погрешность менее 5 %) поведения зернового слоя при описании переходной функции с помощью ARX-модели, требуется уравнение третьей степени.

Список литературы

1. Андрианов Н.М. Идентификация динамических характеристик зерновых сушилок / Н.М. Андрианов // Успехи современного естествознания. – 2003. – № 8. – С. 14–17.
2. Будников Д.А. Исследование динамических свойств зернового слоя при СВЧ–конвективном воздействии / Д.А. Будников // Теоретический и научно-практический журнал ФГБНУ ВИЭСХ «Инновации в сельском хозяйстве». – М.: ФГБНУ ВИЭСХ. – 2014. – №4(9). – С. 94–98.
3. Будников Д.А. Поглощение электромагнитного поля СВЧ сельскохозяйственными материалами / Д.А. Будников. // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – №2 (11). – С. 38–40.
4. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов / А.М. Дейч. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.
5. Дьяконов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник / В. Дьяконов. – СПб.: Питер, 2001. – 448 с.
6. Льюинг Л. Идентификация систем / Л. Льюинг. Теория для пользователя. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
7. Кашьяп Р.Л. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным / Р.Л. Кашьяп, А.Р. Рао. – М.: Наука, 1983. – 384 с.
8. Olmos, I.C. Trelea Dynamic optimal control of batch rice drying process // Drying Technology, 20(7), 1319–1345 (2002).
9. Bhagwati Prakash and Zhongli Pan (2011). Modeling Moisture Movement in Rice, Advanced Topics in Mass Transfer, Prof. Mohamed El-Amin (Ed.), ISBN: 978–953–307–333–0.
10. Mostafa Keshavarz Moraveji, Investigation of Some Effective Parameters on the Fluidized Bed Grain Dryers // Iranica Journal of Energy & Environment 4 (4): 391–397, 2013.
11. R. Bhadra, K. A. Rosentrater, K. Muthukumarappan, S. Kannadhasan Drying Characteristics of Distillers Wet Grains Under Varying Condensed Distillers Solubles and Drying Temperature Levels // American Society of Agricultural and Biological Engineers. – 2011. – Vol. 27(5): 777–786 ISSN 0883-8542.

Наведено результати досліджень динамічних властивостей зернової маси при НВЧ-конвективному сушінні. Встановлено, що для якісного опису поведінки зернового шару при знаходженні перехідної функції потрібне рівняння третього ступеня.

НВЧ-конвективне сушіння, післязбиральна обробка, динамічні властивості, ідентифікація.

The results of investigations of the dynamic properties of the grain mass at a microwave-convective drying are given. It was found that for a qualitative description of the behavior of the grain layer when the transfer function is required equation of the third degree.

Microwave-convective drying, postharvest handling, dynamic properties, identification.

УДК 621.316

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ СИСТЕМИ «МЕРЕЖА-АКТИВНИЙ ФІЛЬТР ГАРМОНІК», ЯКА ВПЛИВАЄ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

**В.Я. БУНЬКО, кандидат технічних наук
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»**

Проаналізовано електромагнітну ситуацію системи «мережа-активний фільтр вищих гармонік», яка впливає на якість електричної енергії системи електропостачання. Проведено дослідження в області електромагнітної сумісності, які показують, що при введенні в експлуатацію та в процесі застосування технічних засобів повинно бути регламентоване дотримання вимог щодо обмеження емісії електричним обладнанням і апаратами електромагнітних перешкод у навколишнє середовище, здатних порушити функціонування іншого устаткування.

Індуктивність, вищі гармоніки, якість електричної енергії, коефіцієнт несиметрії, згладжувальний фільтр, нелінійне навантаження, пульсація напруги, активний фільтр, фільтруючий дросель.

Забезпечення необхідної якості електроенергії для приймачів – це комплекс складних завдань, які розв'язують під час проектування та експлуатації електропостачальних систем. Якість електроенергії суттєво впливає на технологічний процес виробництва та якість продукції, втрати електроенергії, параметри самої ЕПС та її режиму роботи і залежить не тільки від енергосистеми як джерела живлення, але і від споживачів, оскільки на сучасних підприємствах є значна кількість особливих електроприймачів, які негативно впливають на якість електроенергії. Наявність у системах електропостачання потужних дугових електропечей, регульованих вентильних перетворювачів та інших електроприймачів і споживачів з нелінійними вольт-амперними характеристиками та приймачів із різкозмінним навантаженням створюють проблеми, пов'язані з їхньою електромагнітною

© В.Я. БУНЬКО, 2015

НВЧ-конвективне сушіння, післязбиральна обробка, динамічні властивості, ідентифікація.

The results of investigations of the dynamic properties of the grain mass at a microwave-convective drying are given. It was found that for a qualitative description of the behavior of the grain layer when the transfer function is required equation of the third degree.

Microwave-convective drying, postharvest handling, dynamic properties, identification.

УДК 621.316

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ СИСТЕМИ «МЕРЕЖА-АКТИВНИЙ ФІЛЬТР ГАРМОНІК», ЯКА ВПЛИВАЄ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

***В.Я. БУНЬКО, кандидат технічних наук
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

Проаналізовано електромагнітну ситуацію системи «мережа-активний фільтр вищих гармонік», яка впливає на якість електричної енергії системи електропостачання. Проведено дослідження в області електромагнітної сумісності, які показують, що при введенні в експлуатацію та в процесі застосування технічних засобів повинно бути регламентоване дотримання вимог щодо обмеження емісії електричним обладнанням і апаратами електромагнітних перешкод у навколишнє середовище, здатних порушити функціонування іншого устаткування.

Індуктивність, вищі гармоніки, якість електричної енергії, коефіцієнт несиметрії, згладжувальний фільтр, нелінійне навантаження, пульсація напруги, активний фільтр, фільтруючий дросель.

Забезпечення необхідної якості електроенергії для приймачів – це комплекс складних завдань, які розв'язують під час проектування та експлуатації електропостачальних систем. Якість електроенергії суттєво впливає на технологічний процес виробництва та якість продукції, втрати електроенергії, параметри самої ЕПС та її режиму роботи і залежить не тільки від енергосистеми як джерела живлення, але і від споживачів, оскільки на сучасних підприємствах є значна кількість особливих електроприймачів, які негативно впливають на якість електроенергії. Наявність у системах електропостачання потужних дугових електропечей, регульованих вентильних перетворювачів та інших електроприймачів і споживачів з нелінійними вольт-амперними характеристиками та приймачів із різкозмінним навантаженням створюють проблеми, пов'язані з їхньою електромагнітною

© В.Я. БУНЬКО, 2015

сумісністю з ЕПС. Успішне вирішення цих проблем забезпечує раціональну роботу як таких приймачів, так і всіх інших, приєднаних до тієї самої системи (освітлення, електродвигуни тощо).

Питання щодо поліпшення якості електроенергії актуальні не тільки в Україні, але і за кордоном. Показники якості електроенергії визначають за стандартами та нормами. Розробка норм і стандартів є складною проблемою. Ця робота проводиться постійно в багатьох країнах світу та міжнародних галузевих організаціях. Останнім часом міжнародними організаціями прийнято низку нормативних документів, в основу яких покладено стандарти провідних країн світу. Так, Європейським комітетом нормалізації в галузі електротехніки у 1994 р. було прийнято та розроблено багато стандартів, якими нормують показники якості електроенергії в різних мережах, зокрема і промислових, та визначають умови приєднання споживачів до мереж.

Питанню покращення якості електричної енергії присвячені роботи як українських, так і зарубіжних науковців та вчених [1,3,6]. Про це свідчать наукові конференції, присвячені питанню електромагнітної сумісності та якості електроенергії: CIGRE (Міжнародна конференція по великих електричних системах), CIREN (Міжнародна конференція з систем розподілу електроенергії) та ін.

Мета досліджень – аналіз електромагнітної ситуації системи «мережа-активний фільтр вищих гармонік», яка впливає на якість електричної енергії систем електропостачання.

Матеріали та методика досліджень. Проаналізовано системи електромагнітної сумісності «мережа-активний фільтр гармонік», стан якості електричної енергії в системах електропостачання, а також розглянуто наслідки, які викликані погіршенням якості електроенергії, при чому особливу увагу приділено вищим гармонікам складових струму і напруги, як найскладнішому для інженерної оцінки фактору.

Результати досліджень. Проведені дослідження в області електромагнітної сумісності показують, що при введенні в експлуатацію та процесі застосування технічних засобів повинно бути регламентоване дотримання двох вимог:

- обмеження емісії електричним устаткуванням і апаратами електромагнітних перешкод у навколишнє середовище, здатних порушити функціонування іншого устаткування;
- забезпечення усталеної роботи електричного устаткування та апаратів при впливі зовнішніх перешкод штучного і природного походження.

Електромагнітна емісія від технічних засобів призводить до «забруднення» навколишнього середовища польовими та кондуктивними електромагнітними перешкодами, здатними порушити нормальне функціонування інших технічних засобів, іноді може вплинути на людину.

Порушення нормальної роботи технічних засобів при впливі на них електромагнітних перешкод в умовах експлуатації може мати різні наслідки: перешкоди в роботі побутової радіоелектронної апаратури, можливі відмови в роботі систем керування технологічними процесами,

які можуть призвести до браку продукції і виникненню небезпеки для життя та здоров'я людей, заподіяння шкоди майну і навколишньому середовищу. Технічне регулювання в області електромагнітної сумісності має на меті виключити або обмежити зазначені наслідки.

При здійсненні технічного регулювання в області електромагнітної сумісності повинно враховуватися те, що існуючі проблеми у всіх розвинених країнах загострюються. Загострення проблем електромагнітної сумісності пов'язано із широким впровадженням мікроелектроніки, обчислювальної техніки та засобів радіозв'язку, що призводить до підвищення електромагнітної сприйнятливості технічних засобів і до більшої залежності якості їхнього функціонування від електромагнітних перешкод у навколишній електромагнітній обстановці. Тому, технічне регулювання в області електромагнітної сумісності є необхідною умовою існування і стійкого розвитку сучасного суспільства.

На рис.1 наведено спрощену еквівалентну схему поширення кондуктивних перешкод у системі «мережа електроживлення – активний фільтр гармонік – навантаження». На схемі суцільними лініями показано шляхи поширення несиметричних перешкод, а пунктирними – симетричних. Також умовно зображено напрямки поширення перешкод з боку мережі електроживлення і напрямку поширення перешкод, створювані самим активним фільтром гармонік. Джерела перешкод позначені так: $\Gamma_{пс}$ – генератор перешкод з боку мережі електроживлення, $\Gamma_{п-АФГ}$ – активний фільтр гармонік як генератор перешкод.

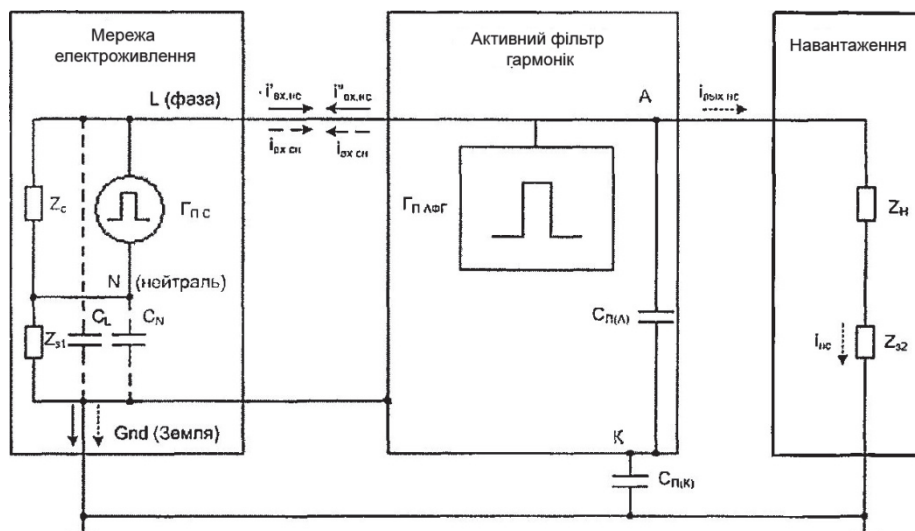


Рис. 1. Спрощена еквівалентна схема поширення кондуктивних перешкод в системі «мережа електроживлення – активний фільтр гармонік – навантаження»

На схемі прийняті такі позначення: Z_c , $Z_н$ – опір мережі навантаження відповідно; $Z_{з1}$, $Z_{з2}$ – опір провідників заземлення нейтралі та одного (наприклад, від'ємного) полюса навантаження; $C_{п(A)}$, $C_{п(B)}$, $C_{п(K)}$ – паразитні ємності вихідних полюсів (затискачів) активного фільтра відносно корпусу і корпусу відносно «землі» [3,4,5].

Несиметричні перешкоди замикаються на «землю» через струмоведучі кола і відповідні паразитні ємності. Слід зауважити, що величина (амплітуда) струмів несиметричних перешкод залежить як від амплітуди сигналів перешкод, так і від величини паразитних зв'язків із шиною заземлення.

Активні фільтри гармонік дуже небезпечні через генерацію високочастотних електромагнітних шумів, обумовлених наявністю в конструкції фільтра силових перетворювачів з швидкозмінними напругою і струмом. Оскільки удосконалення силової частини активного фільтра призвело до збільшення частоти перемикавання, то вимоги до зниження електромагнітних шумів тільки підсилюються. Таким чином, вимоги щодо електромагнітної сумісності активного фільтра гармонік як технічного засобу є головними.

Основні принципи, які викликають електромагнітні шуми, відносно прості. Суттєво те, що задача потребує розпізнавання полів, викликаних швидкозмінними струмом і напругою. В той час як ці характеристики кількісно описані рівнянням Максвелла, необхідно зазначити, що шум може бути викликаний взаємним впливом елементів схеми за допомогою магнітних або електричних полів [4].

Відповідно до закону електромагнітної індукції магнітне поле змушує струм, який змінюється в одному провіднику викликати напругу в другому відповідно:

$$e = -M \frac{di}{dt}, \quad (1)$$

де M – взаємна індуктивність між джерелом і приймачем, Гн.

Точно так напруга, яка змінюється, змушує електричне поле на поверхні збуджувати протікання струму в другому провіднику:

$$i = C \frac{du}{dt}, \quad (2)$$

де C – ємність між джерелом і приймачем, Ф.

Рівняння (1) і (2) свідчать про це, що там, де є швидкозмінюючі струми, наприклад у провідниках, ввімкнених послідовно із силовими ключами активного фільтра, можна очікувати генерування напруги в інших провідниках, пов'язаних взаємною індукцією. І там, де є високе значення $\frac{du}{dt}$, як на виводах потужних перемикаючих IGBT – транзисторів, інша паразитна ємність може викликати струм в іншій лінії.

Найпростішим і, як наслідок, поширеним способом обмеження рівня генеруючих активним фільтром гармонік перешкод є застосування на виході силової частини фільтрів різних згладжувальних фільтрів (рис. 2), принцип дії яких базується на тому, що для вищих гармонік напруги індуктивність являє собою більший опір, а ємність – менший. В результаті вищі гармоніки послаблюються в більшій мірі, як перша (основна) гармоніка. Звідси й істотний недолік одноланкового фільтра: він послаблює не тільки вищі гармоніки, але і першу. Цей недолік усунений у фільтрі, основними ланками якого є послідовне $L1C1$ – і паралельне $L2C2$ – кола. Враховуючи елементи фільтра ідеальними, тобто такими, які не

мають активних втрат, при точному дотриманні умов резонансу можна вважати, що сигнал із силовою частиною активного фільтра подається в навантаження без спотворень [4,5].

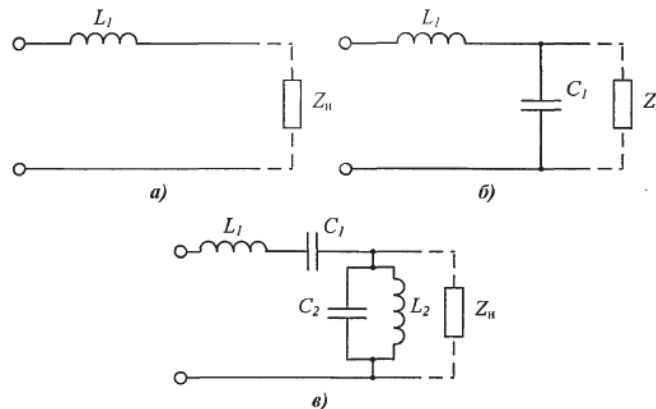


Рис.2. Схеми згладжувальних фільтрів:

а – лінійний дросель; б – одноланковий; в – подібний фільтр;
г – дволанковий; г – подібний фільтр

Генерація потужності спотворень активним фільтром гармонік спрямована на компенсацію вищих гармонік струму навантаження, викликає пульсації напруги на накопичувальному конденсаторі. Оскільки допустимий рівень змінної складової напруги на електролітичних конденсаторах знижується зі зростанням частоти, то необхідна перевірка за рівнем пульсації на кожній фільтруючій частоті.

Найхарактернішим нелінійним навантаженням для сучасних систем електропостачання побутового та офісного типу малої потужності є випрямляч з ємнісним фільтром. Для такого електроприймача вид споживаного струму наведено на рис. 3.

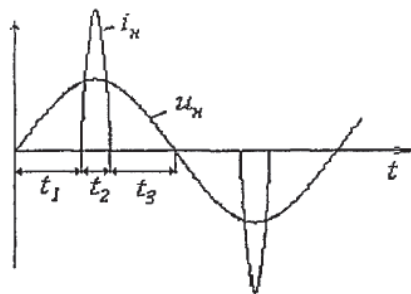


Рис.3. Криві струму і напруги при навантаженні у вигляді випрямляча з ємнісним фільтром

Протягом часу t_1 навантаження не споживає енергії і надлишок енергії мережі компенсується збільшенням напруги на накопичувальному конденсаторі. В нормальному режимі потужність мережі рівна потужності навантаження, за час t_2 навантаженням споживається енергія, рівна енергії мережі за півперіоду, що викликає зменшення напруги конденсатора. Протягом часу t_3 відбувається підвищення напруги накопичувального конденсатора.

Таким чином, у нормальному режимі відбувається коливання напруги конденсатора відносно середнього значення.

Приблизна оцінка коливання напруги на накопичувальному конденсаторі дозволяє зробити висновок про те, що $t_2 \ll t_1, t_3$, тоді різниця енергії конденсатора при коливанні напруги на ньому за півперіод рівна:

$$\frac{C_d (U_{c_d \text{ роб}} + \Delta U_{c_d n})^2}{2} - \frac{C_d (U_{c_d \text{ роб}} - \Delta U_{c_d n})^2}{2} = \frac{P_n T}{2}, \quad (3)$$

де $U_{c_d \text{ роб}}$ – номінальна робоча напруга на накопичувальному конденсаторі, В; $\Delta U_{c_d n}$ – допустимий рівень пульсації, В; C_d – ємність накопичувального конденсатора, Ф; P_n – активна потужність навантаження, Вт.

Звідси отримаємо:

$$\Delta U_{c_d n} \leq \frac{P_n T}{4 C_d U_{c_d \text{ роб}}}. \quad (4)$$

Залежність дозволяє оцінити рівень пульсації, викликані навантаженням у вигляді випрямляча з С – фільтром.

Індуктивність згладжувального фільтра розраховується, виходячи із таких міркувань: спектральний склад струму активного фільтра може бути різним, оскільки він визначається спектральним складом струму навантаження. Тому, при розрахунку індуктивності згладжувального фільтра необхідно враховувати найгірший випадок розподілення вищих гармонік струму, при якому напруга на дроселі максимальна [4].

Напруга на виході перетворювача активного фільтра не повинна перевищувати номінальної робочої напруги накопичувального конденсатора:

$$\frac{U_{c_d \text{ роб}}}{m (U_{\text{ном.мер.}} + U_{L1} + \sum_{n=2}^N U_{Ln})} \geq 1, \quad (5)$$

де $U_{\text{ном.мер.}}$ – номінальна напруга мережі, В; U_{L1} і U_{Ln} – відповідно напруга на фільтруючому дроселі на основній частоті і на вищих гармоніках струму активного фільтра, В.

Оскільки фільтруючий дросель повинен забезпечувати фільтрацію модуляційної складової струму фільтра гармонік, який негативно впливає на мережі, то значення коефіцієнта спотворення можна визначити за формулою:

$$K_{\text{мод}} = \frac{I_{\text{мод}}}{I_{\text{мер}}}, \quad (6)$$

де $I_{\text{мод}}$ і $I_{\text{мер}}$ – дійсні значення гармоніки струму на частоті модуляції і струму мережі відповідно, А.

Дійсні значення гармоніки струму на частоті модуляції:

$$I_{\text{мод}} = \frac{U_{c_d \text{ роб}} K_M}{\sqrt{2} \omega_{\text{мод}} L}, \quad (7)$$

де $\omega_{\text{мод}} = 2\pi f_{\text{мод}}$, K_M – коефіцієнт послаблення амплітуди гармоніки напруги перетворювача на частоті модуляції відносно робочої напруги накопичувального конденсатора.

Підставимо рівняння (7) у (6) і, спростивши відносно L , одержимо:

$$L = \frac{U_{сд} \text{rcб} K_M}{\sqrt{2} \omega_{\text{мод}} K_{\text{мод}} I_{\text{мер}}}. \quad (8)$$

Отримане значення індуктивності згладжувального фільтра повинно задовольняти вимоги рівняння (5). Скоректувати значення індуктивності можна двома способами: або підвищенням частоти модуляції, або зниженням якості фільтрації модуляційної складової.

Висновки. Проаналізувавши роботу віртуальної моделі трифазного активного фільтра можна зробити висновок про коректну та ефективну роботу цього пристрою у всіх змодельованих режимах. Якість компенсації вищих гармонік задовольняє вимоги ГОСТ 13109-97. Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги після ввімкнення активного фільтра гармонік знижується в середньому в 12 разів, що свідчать про ефективність цієї системи з використанням активних фільтрів.

Список літератури

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 186 с.
2. Иванова Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В. Иванова; под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. – Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. транспорта, 2006. – 432 с.
3. Люtareвич А.Г. Анализ электромагнитной обстановки в системе «сеть — активный фильтр гармоник» / А.Г. Люtareвич // Омский научный вестник. — 2009. — №2 (80). — С. 171–173.
4. Наумов И.В. Качество электрической энергии в сельских сетях 0,38 кВ / И.В. Наумов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. – № 3. – С. 19–20.
5. Шрейнер Р.Т. Активный фильтр как новый элемент энергосберегающих систем электропривода / Р.Т. Шрейнер, А.А. Ефимов // Электричество. – 2000. – № 3. – С. 46–54.
6. Эраносян С. Электромагнитная совместимость импульсных источников питания. Ч.1 / С. Эраносян, В. Ланцов // Силовая электроника. – 2006. – №4. – С. 58–64.

Проанализирована электромагнитная ситуация системы «сеть-активный фильтр высших гармоник», которая влияет на качество электрической энергии системы электроснабжения. Проведены исследования в области электромагнитной совместимости, которые показывают, что при введении в эксплуатацию и процессе применения технических средств должно быть регламентировано соблюдение требований по ограничению эмиссии электрическим оборудованием и аппаратами электромагнитных помех в окружающую среду, способных нарушить функционирование другого оборудования.

Индуктивность, высшие гармоники, качество электрической энергии, коэффициент несимметрии, сглаживающий фильтр, нелинейная нагрузка, пульсация напряжения, активный фильтр, фильтрующий дроссель.

It is studied analysis of electromagnetic system " network - active filter of higher harmonics" which influences quality of electric energy of supply system. It is conducted researches in field of electromagnetic compatibility showing that at introduction to operation and in course of application of technical means has to be regulated by requirements to issue restriction with electric equipment and devices of electromagnetic hindrances in environment capable to break functioning of other equipment.

Inductance, higher harmonics, quality of electric energy, asymmetry coefficient, smoothing filter, nonlinear load, voltage tension, active filter, filter throttle.

УДК 621.3:636.5

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УГЛОМ НАКЛОНА НЕПОДВИЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДВИЖЕНИЯ И ВЗВЕШИВАНИЯ СЫПУЧЕЙ КОРМОВОЙ СМЕСИ В ПОТОКЕ

***А.В. ДУБРОВИН, доктор технических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва***

Предложен принцип технологически наилучшего автоматического управления углом наклона неподвижной поверхности скольжения и качения по ней частичек взвешиваемой сыпучей кормовой смеси для животных и птицы. В соответствующем устройстве отсутствует традиционный электропривод для перемещения смеси в горизонтальной плоскости, в результате чего экономится электрическая энергия при сохранении в целом точности процесса взвешивания и производительности измерителя массы сыпучей смеси в потоке.

Угол наклона поверхности движения, сыпучая смесь, взвешивание в потоке.

Известные устройства высокоточного взвешивания сыпучих материалов в потоке на движущейся в горизонтальной плоскости ленте транспортёра [1, 2 и др.] традиционно используют искусственный источник энергии, как правило, электричество. Вынуждается применение достаточно мощного электропривода, существенно усложняющего и удорожающего конструкцию устройства и увеличивающего эксплуатационные энергетические затраты при работе устройства.

Существуют многочисленные математические модели, алгоритмы расчёта и управления, технические решения достаточно точного измерения массового расхода и дозирования сыпучих материалов [1, 2 и др.]. Все они предполагают горизонтальное расположение в пространстве весоизмерительной поверхности для наиболее полного учёта вертикально

© А.В. ДУБРОВИН, 2015

It is studied analysis of electromagnetic system " network - active filter of higher harmonics" which influences quality of electric energy of supply system. It is conducted researches in field of electromagnetic compatibility showing that at introduction to operation and in course of application of technical means has to be regulated by requirements to issue restriction with electric equipment and devices of electromagnetic hindrances in environment capable to break functioning of other equipment.

Inductance, higher harmonics, quality of electric energy, asymmetry coefficient, smoothing filter, nonlinear load, voltage tension, active filter, filter throttle.

УДК 621.3:636.5

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УГЛОМ НАКЛОНА НЕПОДВИЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДВИЖЕНИЯ И ВЗВЕШИВАНИЯ СЫПУЧЕЙ КОРМОВОЙ СМЕСИ В ПОТОКЕ

***А.В. ДУБРОВИН, доктор технических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва***

Предложен принцип технологически наилучшего автоматического управления углом наклона неподвижной поверхности скольжения и качения по ней частичек взвешиваемой сыпучей кормовой смеси для животных и птицы. В соответствующем устройстве отсутствует традиционный электропривод для перемещения смеси в горизонтальной плоскости, в результате чего экономится электрическая энергия при сохранении в целом точности процесса взвешивания и производительности измерителя массы сыпучей смеси в потоке.

Угол наклона поверхности движения, сыпучая смесь, взвешивание в потоке.

Известные устройства высокоточного взвешивания сыпучих материалов в потоке на движущейся в горизонтальной плоскости ленте транспортёра [1, 2 и др.] традиционно используют искусственный источник энергии, как правило, электричество. Вынуждается применение достаточно мощного электропривода, существенно усложняющего и удорожающего конструкцию устройства и увеличивающего эксплуатационные энергетические затраты при работе устройства.

Существуют многочисленные математические модели, алгоритмы расчёта и управления, технические решения достаточно точного измерения массового расхода и дозирования сыпучих материалов [1, 2 и др.]. Все они предполагают горизонтальное расположение в пространстве весоизмерительной поверхности для наиболее полного учёта вертикально

© А.В. ДУБРОВИН, 2015

направленной силы тяжести, принудительное движение этой поверхности с сыпучим материалом с постоянной скоростью для упрощения учёта этой характеристики процесса непрерывного во времени взвешивания и дозирования. Принципиально необходимы дополнительный источник энергии для движения ленты весоизмерительного транспортёра с нагруженным на неё сыпучим материалом и соответствующее дополнительное движительное оборудование.

Цель исследований – отказ от энергии внешнего источника, например электричества, взвешивание сыпучей смеси в потоке за счёт энергии только силы земного тяготения, осуществление движения взвешиваемой сыпучей смеси самотёком (скольжением и качением частиц сыпучей смеси) по неподвижной направляющей поверхности весоизмерительной конструкции; автоматическая установка такого значения угла наклона поверхности, при котором величина произведения вертикальной проекции силы тяжести взвешиваемой сыпучей смеси и скорости ее движения самотёком имеет технологически наибольшее (оптимальное) значение.

Материалы и методика исследований. Время соскальзывания или скатывания сыпучего материала по поверхности самотёком равно времени задержки t_0 , т.е. времени пребывания материала на весовом транспортёре (как указано в [1, 2 и др.]), или на неподвижной наклонённой поверхности движения смеси. Это время пропорционально рабочей длине направляющей L , по которой скользит или перекатывается вниз сыпучий материал, и обратно пропорционально скорости движения V массы сыпучего материала самотёком:

$$t_0 = L/V, \text{ м/с.} \quad (1)$$

Поэтому для определения значения временной задержки t_0 в конкретном режиме работы наклонной направляющей длиной L нужно знать соответствующее значение скорости движения V смеси самотёком, которое можно определить двумя способами. Первый – сразу измерять во время действия технологического процесса взвешивания величину скорости V , что потребует сложных и дорогостоящих неконтактных измерителей для всех весоизмерительных бесприводных самотёчных наклонных направляющих, установленных в кормоцехе и производственных животноводческих или птицеводческих помещениях сельскохозяйственного предприятия. Понятно, что такой способ связан с чрезмерными затратами и экономически нецелесообразен.

Второй способ – только один раз измерить подобным сложным и дорогостоящим измерителем (например, оптоэлектронным и т.п.) скорости самотёка различных сыпучих смесей на направляющих с различными материалами их конструкций, различными формами их поперечных сечений, в отсутствие и при наличии принудительных внешних вибраций направляющей с различными сочетаниями амплитуд и частот вынужденных колебаний. Затем по полученным опытным данным построить графические и математические модели процесса самотёка сыпучей смеси. Тогда в реальных условиях производства останется только иметь данные о виде сыпучей смеси, длине L , материале рабочей поверхности направляющей,

форме поперечного сечения направляющей конструкции для того, чтобы вычислить по такой известной математической модели (2) сначала значение скорости движения V смеси самотёком, затем временной задержки t_0 по (1). Потом автоматически установить технически (достаточно большая проекция усилия $F(t)$ действия на датчик силы) и технологически (достаточно большая скорость самотёка смеси V) оптимальный угол наклона направляющей поверхности. В результате, с помощью вычисленного сначала значения скорости самотёка смеси V , с достаточно высокой точностью определяется требуемое значение временной задержки t_0 , причём весоизмеритель избавляется от достаточно дорогой, сложной и не всегда точной и надёжной системы электропривода.

Результаты исследований. Величина скорости перемещения (движения) V сыпучего корма (кормовой смеси) самотёком по длине L направляющей, установленной с наклоном к горизонту под углом $ugol (a...b)$, зависит также от трения скользящих и катящихся частичек корма по материалу направляющей *mater napravl*, сопротивления направляющей прохождению по ней сыпучего материала в зависимости от формы поперечного сечения направляющей *forma popereth seth*, размаха (от амплитуды) поперечных направлению силы тяжести искусственно вызванных колебаний направляющей *ampl*, частоты этих искусственно вызванных колебаний *frequence*, от физико-механических свойств собственно сыпучего материала (сыпучего корма или сыпучей кормовой смеси *svoystva smesi kormov* (рис. 1).

$$V = f(ugol (a...b), mater napravl, forma popereth seth, ampl, frequence, svoystva smesi kormov). \quad (2)$$

С увеличением угла наклона направляющей к горизонту от нуля до 90° вертикальная проекция силы тяжести смеси изменяется по зависимости косинуса, скорость V изменяется от нуля (смесь лежит без перемещения по длине направляющей, поскольку нет движущей её силы) до величины

$$V_{90^\circ} = (L \times g)^{0.5}, \quad (3)$$

где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Влияние частоты вынужденных поперечных колебаний направляющей *frequence* на взаимную связь частичек смеси и направляющей (т.е. на значение скорости V) имеет выраженный оптимальный характер. При нулевой и малой частоте *frequence* воздействие на частицу смеси практически отсутствует, равно как и при достаточно большом значении частоты *frequence*, когда инерционность массы частицы не позволяет ей сдвинуться с места на направляющей и таким образом начать движение по ней. Качественные зависимости скорости V от частоты поперечной вибрации имеют похожий друг на друга характер при изменении вида материала, из которого изготовлена направляющая *mater napravl*, и от формы её поперечного сечения *forma popereth seth*, при неизменных физико-механических свойствах сыпучей смеси *svoystva smesi kormov*. В частном случае, отражающем характер процесса, эти условия выглядят так: *mater napravl = const_1*, *forma popereth seth = const_2*, *svoystva smesi kormov = const_3*.

Поэтому достаточно построить зависимости скорости V движения смеси от угла наклона $ugol(a..b)$, амплитуды $ampl$ и частоты $frequence$ поперечных колебаний. Для упрощения графической и затем математической модели процесса движения сыпучей смеси по направляющей поверхности можно в первом приближении считать смесь однородной, т.е. состоящей из примерно одинаковых по массе и по форме её частичек. Тогда количество экстремумов (максимумов) взаимодействия вибрации и движения смеси равно одному, и кривая линия зависимости скорости движения смеси V от частоты вибрации занимает наилучшее единственное положение (самая левая из трёх кривых линий на рис. 1).

В отсутствие вибрации (поперечных колебаний) направляющей смесь начинает движение вниз при увеличении угла наклона направляющей до значения A . При угле наклона направляющей 90° смесь падает вниз с ускорением свободного падения и в нижнем конце направляющей приобретает скорость $(L \times g)^{0,5}$. При наличии вибрации (поперечных колебаний) направляющей смесь начинает движение вниз при увеличении угла наклона направляющей до меньшего чем A значения B . При угле наклона направляющей 90° смесь также падает вниз с ускорением свободного падения и в нижнем конце направляющей также приобретает скорость $(L \times g)^{0,5}$. При оптимальной для наилучшего движения смеси частоте вибрации и наибольшей амплитуде этих колебаний угол C начала движения смеси является самым меньшим по сравнению с углами A и B наклона направляющей от её горизонтального положения. Сила тяжести смеси, находящейся на направляющей, изменяется от относительной единицы (от истинного значения $F_{max} = F_0 \times \cos 0^\circ = F_0 \times 1 = F_0$) до нуля по косинусоидальной зависимости с изменением угла наклона направляющей от 0° до 90° . Поэтому различие $\Delta ugol$ между наилучшими углами наклона в отсутствие $ugol_{opt}^{отс}$ и при наличии $ugol_{opt}^{нал}$ вибрации даёт прирост измеряемой величины силы тяжести и прирост расчётной скорости транспортирования смеси ΔF_{opt} , ΔV_{opt} по сравнению с соответствующими значениями при переходе от отсутствия вибрации $F_{opt}^{отс}$, $V_{opt}^{отс}$ к её включению и наличию $F_{opt}^{нал}$, $V_{opt}^{нал}$. Вибрация направляющей со смесью даёт выигрыш в скорости взвешивания сыпучего материала $\Delta V(ugol_{opt}^{отс})$ при оптимальном значении угла наклона направляющей $ugol_{opt}^{отс}$ для случая отсутствия вибрации. Также имеется выигрыш в скорости взвешивания сыпучего материала $\Delta V(ugol_{opt}^{нал})$ при оптимальном значении угла наклона направляющей $ugol_{opt}^{нал}$ для случая наличия вибрации. Для любых других сыпучих смесей также можно легко определить опытным путём точный вид зависимости скорости самотёка смеси V от указанных в (2) величин и обоснованно выбрать требуемые параметры конструкции и сопоставить их с энергетическими характеристиками вибратора. Остаётся найти по модели вида (2) расчётное оптимальное значение V . Надо найти баланс (компромисс) между по возможности большей составляющей силы, действующей в вертикальном направлении на силоизмерительный датчик, установленный в конце направляющей по её длине, и по возможности большей скоростью самотёка смеси. При отсутствии и наличии вибрации

направляющей имеются два соответствующих значения технологически оптимальных углов наклона направляющей поверхности: $угол_{опт}^{отс}$ и $угол_{опт}^{нал}$. Первая величина всегда больше второй, поскольку вибрация поверхности со смесью облегчает самотёк смеси при меньших углах наклона поверхности.

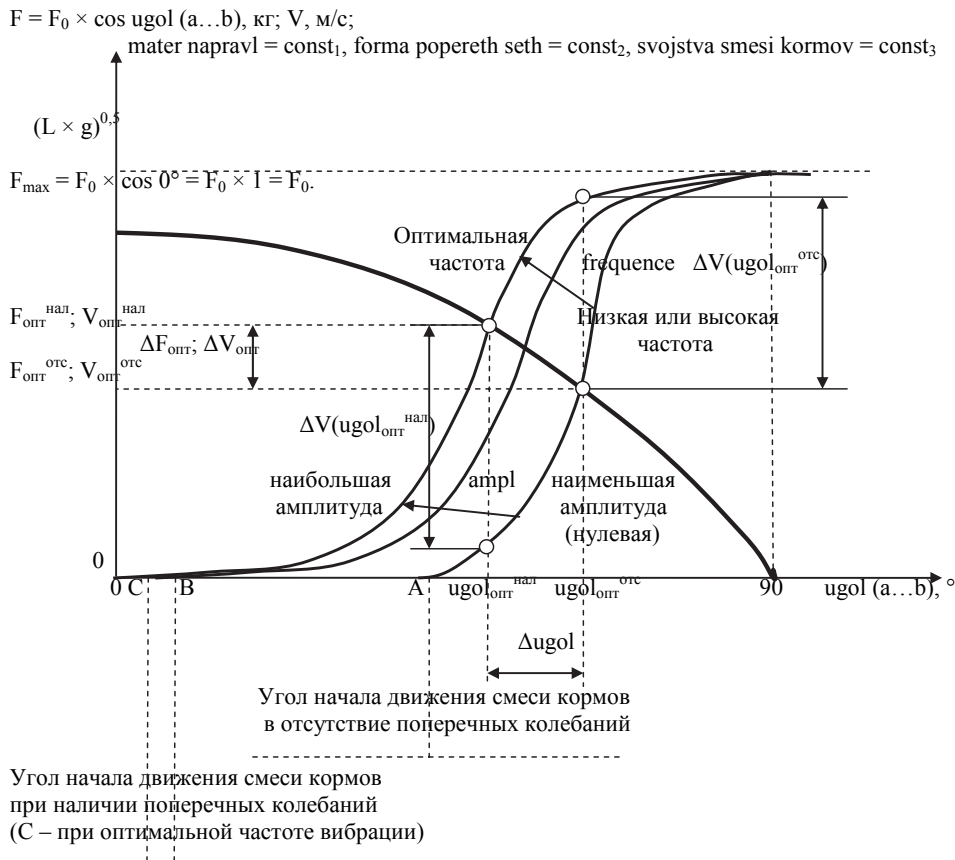


Рис. 1. Зависимости силы воздействия смеси на датчик силы F и скорости самотёка смеси V от угла наклона направляющей поверхности $угол (a...b)$:

$(L \times g)^{0,5}$ – скорость свободного падения смеси в конце вертикально расположенной направляющей поверхности, т.е. наклонённой на 90° ; A – угол начала движения смеси кормов в отсутствие поперечных принудительных колебаний (вибрации направляющей поверхности), $^\circ$; B – угол начала движения смеси кормов при наличии поперечных колебаний при оптимальной частоте вибрации, $^\circ$; C – угол начала движения смеси кормов при наличии поперечных колебаний при оптимальной частоте вибрации, $^\circ$; $F_{опт}^{нал}$ и $V_{опт}^{нал}$ – оптимальные значения силы и скорости при наличии вынужденной вибрации с оптимальной частотой, кг и м/с; $F_{опт}^{отс}$ и $V_{опт}^{отс}$ – оптимальные значения силы и скорости в отсутствие вынужденной вибрации, кг и м/с; $\Delta F_{опт}$ и $\Delta V_{опт}$ – выигрыши в силе и в скорости при переходе от отсутствия вибрации к её наличию с оптимальной частотой, кг и м/с; $угол_{опт}^{нал}$ и $угол_{опт}^{отс}$ – оптимальные значения углов наклона при наличии вибрации с оптимальной частотой и при её отсутствии, $^\circ$; $\Delta V(угол_{опт}^{нал})$ и $\Delta V(угол_{опт}^{отс})$ – выигрыши в скорости самотёка смеси при наличии вибрации с оптимальной частотой и при её отсутствии, м/с

Устройство (рис. 2) работает следующим образом. Изначально известны и соответственно заданы в виде материальных сигналов вид и, следовательно, требуемые физико-механические свойства направляющей поверхности весоизмерительной конструкции. Это осуществляется посредством задатчика вида материала направляющей 5. Одновременно известна форма и размеры поперечного сечения направляющей поверхности, которые сильно влияют на величину механического воздействия поверхности на сыпучую смесь в её потоке. Это производится посредством задатчика формы и размеров поперечного сечения направляющей 6. При выборе вида сыпучей смеси для её непрерывного в потоке взвешивания и дозирования следует ввести в устройство данные о физико-механических свойствах сыпучей смеси, что и выполняется посредством задатчика вида сыпучей смеси 7. Диапазон значений углов наклона направляющей поверхности, внутри которого автоматически будет происходить поиск наибольшего значения величины произведения косинуса этого угла и расчётной скорости движения сыпучей смеси при этом угле, задаётся при помощи задатчика диапазона изменения угла наклона 8 и составляет от 0 до 90°.

Указанные сведения передаются в блок вычисления скорости самотёка сыпучей смеси для определения временной задержки и технически оптимального угла наклона направляющей 9, в котором по математическим зависимостям (2) и (1) вычисляются соответственно значение расчётной скорости самотёка сыпучей смеси V и значение временной задержки t_0 сыпучей смеси на направляющей поверхности весоизмерительной конструкции от момента времени поступления смеси на направляющую до момента времени схода смеси с направляющей. Блок вычисления 9 перебирает значения переменных и их сочетаний. Когда отсутствует вибрация, известными математическими методами в блоке вычисления 9 находится наибольшее значение величины произведения косинуса этого угла и расчётной скорости движения сыпучей смеси при этом угле и соответствующее этому наибольшему значению режимное (рабочее) значение технически оптимального угла наклона. Сразу же определяются режимные значения скорости самотёка сыпучей смеси V_{opt}^{omc} в отсутствие вибрации и временной задержки t_0^{omc} сыпучей смеси на направляющей поверхности. Данные о t_0^{omc} передаются в вычислительный блок 3, в который также поступает сигнал от датчика силы 2 и в котором по известным математическим моделям работы аналогичных устройств формируются сигналы массового расхода сыпучей смеси во времени и сигналы дозирования сыпучей смеси по её массе в отсутствие принудительной вибрации поверхности.

Если решено использовать вибрацию поверхности для облегчения движения сыпучей смеси самотёком, то уже на стадии задания физико-механических свойств сыпучей смеси блок вычисления 9 определяет соответствующие данной смеси амплитуду и частоту вынужденных колебаний при вибрации. В блоке вычисления 9 определяются другие режимные значения угла наклона, скорости самотёка сыпучей смеси

$V_{опт}^{нал}$ при наличии вибрации и соответствующей временной задержки $t_0^{нал}$ сыпучей смеси на направляющей поверхности при вибрации.

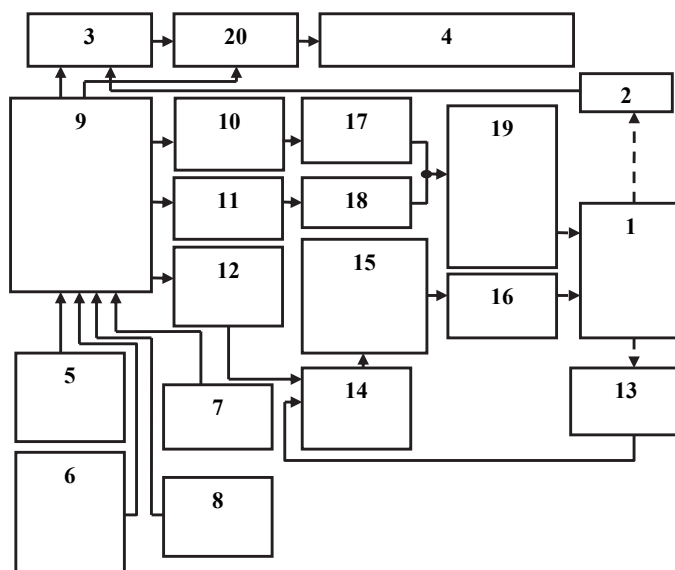


Рис. 2. Функциональная схема устройства управления технически оптимальным углом наклона неподвижной направляющей поверхности движения взвешиваемой и дозируемой сыпучей смеси самотёком за счёт силы земного тяготения при приготовлении и раздаче кормов и кормовых смесей в животноводстве и птицеводстве:

1 – направляющая поверхность движения взвешиваемой и дозируемой сыпучей смеси в весоизмерительной конструкции; 2 – датчик силы; 3 – вычислительный блок; 4 – блок интерфейса с индикатором расхода и дозы сыпучей смеси; 5 – задатчик вида материала направляющей; 6 – задатчик формы поперечного сечения направляющей; 7 – задатчик вида сыпучей смеси; 8 – задатчик диапазона изменения угла наклона; 9 – блок вычисления скорости самотёка сыпучей смеси для определения временной задержки и технически оптимального угла наклона направляющей; 10 – задатчик амплитуды вибрации; 11 – задатчик частоты вибрации; 12 – задатчик угла наклона направляющей; 13 – датчик углового положения; 14 – регулятор угла наклона направляющей; 15 – электродвигатель для изменения угла наклона направляющей; 16 – червячная или другая передача; 17 – амплитудный усилитель; 18 – генератор частоты; 19 – исполнительный элемент вибратора (соленоид, электродвигатель с кривошипом и тягой и т.п.)

Данные о $t_0^{нал}$ передаются в вычислительный блок 3, и в нём формируются сигналы массового расхода сыпучей смеси во времени или сигналы дозирования сыпучей смеси по её массе при наличии вибрации. Сигнал измеренного угла наклона от датчика углового положения 13 сравнивается в регулятор угла наклона направляющей 14 с заданным сигналом от задатчика угла наклона направляющей 12, и выходной сигнал

регулятора угла наклона направляющей 14 заставляет работать электродвигатель для изменения угла наклона направляющей 15. Посредством механической червячной или другого вида механической передачи 16 юстирующий (подстраивающий) недорогой маломощный электропривод устройства изменяет в нужную сторону и на необходимое значение угол наклона направляющей поверхности движения сыпучей смеси 1. При этом амплитудный усилитель 17 и генератор частоты 18 на соединении их выходов формируют общий для них сигнал требуемой амплитуды и частоты. Исполнительный элемент вибратора (соленоид, электродвигатель с кривошипом и тягой и т.п.) 19, соединённый механически определённым образом с направляющей поверхностью движения сыпучей смеси 1 заставляет её принудительно вибрировать в плоскости, перпендикулярной направлению измеряемой силы тяжести, что не влияет на точность взвешивания.

Выводы. Учитываются физико-механические свойства материала направляющей поверхности и форма её поперечного сечения, угол её наклона для осуществления самотёка кормовой смеси или составляющих эту смесь кормов, амплитуда и частота искусственно вызванной вибрации направляющей поверхности со смесью, облегчающей самотёк, физико-механические свойства сыпучих кормовых смесей и других сыпучих материалов. Подобные весоизмерители для систем автоматизации процессов в птицеводстве по экономическому критерию имеют невысокую стоимость по сравнению с устройствами с мощным электроприводом для перемещения взвешиваемой сыпучей смеси.

Список литературы

1. А.с. 1571413 СССР. Дозатор сыпучих материалов / Р.М. Славин, Г.А. Харатян, А.А. Папрян. – № 4365908/24-10; заявл. 14.01.88; опубл. 15.01.90, Бюл. №22.

2. А.с. 1485024 СССР. Устройство непрерывного действия для дозирования сыпучих материалов / Р.М. Славин и др.; опубл. 1989, Бюл. №21.

3. Дубровин А.В. Основы автоматизированного управления технологическими процессами в птицеводстве по экономическому критерию / А.В. Дубровин. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2013. – 292 с.

Запропоновано принцип технологічно найкращого автоматичного управління кутом нахилу нерухокої поверхні ковзання і кочення по ній частинок зважуваної сипучої кормової суміші для тварин і птиці. У відповідному пристрої відсутній традиційний електропривод для переміщення суміші в горизонтальній площині, в результаті чого економиться електрична енергія при збереженні в цілому точності процесу зважування і продуктивності вимірника маси сипучої суміші в потоці.

Кут нахилу поверхні руху, сипуча суміш, зважування в потоці.

Proposed principle technologically the best automatic control of the angle of inclination of the stationary sliding surface and rolling it particles of weighted granular feed for animals and poultry. In the corresponding device is not a

traditional actuator to move the mixture in the horizontal plane, resulting in saving of electrical energy while maintaining the overall accuracy of the weighing process and performance meter mass of granular mixtures in a flow.

Angle surface movement, granular mixture, weigh-in thread.

УДК 631.563.2

МОДЕЛЬ НВЧ–АКТИВАЦІЇ І СУШІННЯ ЗЕРНА АКТИВНИМ ВЕНТИЛЮВАННЯМ

***С.Г. БІЛИК, В.Я. БУНЬКО, І.В. КАЛИНІЙ,
кандидати технічних наук***

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

Отримано критеріальне рівняння для розрахунку тривалості сушіння зерна в товстому шарі до кінцевої вологості при постійній швидкості повітря. Наведено повну систему критеріальних рівнянь, які описують процес тепло–і вологообміну в зерновому шарі при НВЧ–активації та активному вентиляванні.

Активне вентилявання, температурний градієнт, сушильний агент, граничні умови, критерії подібності, диференціальні рівняння, тепло- і вологообмін, НВЧ–активація, критеріальне рівняння.

Під час збирання врожаю ми отримуємо зерно з надлишковим вмістом вологи. Вологе зерно не підлягає тривалому зберіганню, оскільки швидко псується. Своєчасно і правильно проведена процедура сушіння не лише підвищує стійкість зерна при зберіганні, але і сприяє покращенню його якості, прискоренню дозрівання зерна, вирівнюванню зернової маси за вмістом вологи (на рівні кондиційного значення) і міри зрілості (на рівні повної стиглості), поліпшенню кольору і зовнішнього вигляду, призупиненню життєдіяльності мікроорганізмів і шкідників.

Результати досліджень, пов'язані з впливом електромагнітного НВЧ– поля на матеріал дослідження проходження зерна через активну зону, умови для рівномірної обробки зерна в НВЧ–активній зоні апарата, процес тепло–вологообміну в зерновому шарі при НВЧ–активації та активному вентиляванні викладені у багатьох працях [2,3,8], однак існує чимало питань, що потребують детальнішого опрацювання і вивчення.

Мета досліджень – отримання критеріальної моделі НВЧ–активації і сушіння зерна активним вентиляванням, яка дозволяє оцінити ефективність використання НВЧ–поля на підвищення інтенсивності сушіння.

Матеріали та методика досліджень. Під час вивчення різних теплофізичних явищ поряд з аналітичним рішенням велике значення мають і узагальнені емпіричні закономірності. Теорія подібності і моделювання

© С.Г. БІЛИК, В.Я. БУНЬКО,
І.В. КАЛИНІЙ, 2015

traditional actuator to move the mixture in the horizontal plane, resulting in saving of electrical energy while maintaining the overall accuracy of the weighing process and performance meter mass of granular mixtures in a flow.

Angle surface movement, granular mixture, weigh-in thread.

УДК 631.563.2

МОДЕЛЬ НВЧ–АКТИВАЦІЇ І СУШІННЯ ЗЕРНА АКТИВНИМ ВЕНТИЛЮВАННЯМ

***С.Г. БІЛИК, В.Я. БУНЬКО, І.В. КАЛИНІЙ,
кандидати технічних наук***

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

Отримано критеріальне рівняння для розрахунку тривалості сушіння зерна в товстому шарі до кінцевої вологості при постійній швидкості повітря. Наведено повну систему критеріальних рівнянь, які описують процес тепло–і вологообміну в зерновому шарі при НВЧ–активації та активному вентиляванні.

Активне вентилявання, температурний градієнт, сушильний агент, граничні умови, критерії подібності, диференціальні рівняння, тепло- і вологообмін, НВЧ–активація, критеріальне рівняння.

Під час збирання врожаю ми отримуємо зерно з надлишковим вмістом вологи. Вологе зерно не підлягає тривалому зберіганню, оскільки швидко псується. Своєчасно і правильно проведена процедура сушіння не лише підвищує стійкість зерна при зберіганні, але і сприяє покращенню його якості, прискоренню дозрівання зерна, вирівнюванню зернової маси за вмістом вологи (на рівні кондиційного значення) і міри зрілості (на рівні повної стиглості), поліпшенню кольору і зовнішнього вигляду, призупиненню життєдіяльності мікроорганізмів і шкідників.

Результати досліджень, пов'язані з впливом електромагнітного НВЧ– поля на матеріал дослідження проходження зерна через активну зону, умови для рівномірної обробки зерна в НВЧ–активній зоні апарата, процес тепло–вологообміну в зерновому шарі при НВЧ–активації та активному вентиляванні викладені у багатьох працях [2,3,8], однак існує чимало питань, що потребують детальнішого опрацювання і вивчення.

Мета досліджень – отримання критеріальної моделі НВЧ–активації і сушіння зерна активним вентиляванням, яка дозволяє оцінити ефективність використання НВЧ–поля на підвищення інтенсивності сушіння.

Матеріали та методика досліджень. Під час вивчення різних теплофізичних явищ поряд з аналітичним рішенням велике значення мають і узагальнені емпіричні закономірності. Теорія подібності і моделювання

© С.Г. БІЛИК, В.Я. БУНЬКО,
І.В. КАЛИНІЙ, 2015

дозволяє доповнити експериментальні методи узагальнення одиночних дослідів. Теорія подібності як вчення про методи наукового узагальнення базується на широкому експериментальному матеріалі, який узагальнюється за допомогою диференціальних і інтегральних рівнянь. Цей метод широко використовується при аналізі процесів сушіння.

Результати досліджень. Як впливає із технології сушіння зерна активним вентиляванням, зерно в установці може знаходитися в декількох станах і піддаватися дії декількох факторів.

Ф1. Зерно після попереднього очищення піддається сушінню активним вентиляванням;

Ф2. Зерно після попереднього очищення піддається дії НВЧ–поля без конвективного сушіння.

Ф3. Зерно після попереднього очищення піддається спільній дії НВЧ– поля і конвективного сушіння.

Ф4. Зерно після виконання над ним дій за Ф2. піддається сушінню активним вентиляванням.

Ф5. Зерно після виконання над ним дій за Ф3. піддається сушінню активним вентиляванням.

Ф6. Зерно після підсушування активним вентиляванням піддається активізації НВЧ–випромінюванням.

Ф7. Зерно після підсушування активним вентиляванням піддається НВЧ–активізації з конвективним сушінням.

Під час опису процесу конвективного сушіння шару зерна, як правило, приймають такі допущення:

- волога в зерні знаходиться в рідкому стані;
- випаровування вологи із зерна проводиться за законом Дальтона;
- тепло- і вологообмін відбувається тільки між сушильним агентом і зерном;
- температурний градієнт всередині окремих зерен малий і ним можна знехтувати;
- теплообмін між сушильним агентом і зерном здійснюється шляхом конвекції.

Такий схемі тепло- і вологообміну відповідає система диференціальних рівнянь:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} - 3600V \frac{\partial t}{\partial x} = - \frac{\gamma_n \cdot c_{n2}}{\gamma_n \cdot c_n \cdot \varepsilon} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \tau} - \frac{\gamma_n \cdot r^f}{\gamma_n \cdot c_n \cdot \varepsilon} \cdot \frac{\partial W}{\partial \tau}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = - \frac{\gamma_n \cdot \varepsilon}{10 \gamma_n} \left(\frac{\partial D}{\partial \tau} + 3600V \frac{\partial D}{\partial x} \right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + 3600V \frac{\partial t}{\partial x} = - \frac{\alpha S_v}{\gamma_n \cdot c_n \cdot \varepsilon} (t - \theta); \quad (3)$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \frac{\beta S_v}{\gamma_n} (p_{\text{в}} - p_n). \quad (4)$$

Рівняння (1) відображає закон збереження енергії в процесі сушіння. Тепло, яке передане підігрітим повітрям, витрачається на нагрівання зерна і випаровування вологи. Рівняння (2) відображає закон збереження матерії. Рівняння (3) і (4) – закони теплообміну і вологообміну відповідно.

У цих рівняннях t – температура агента сушіння, $^{\circ}\text{C}$; d – вологовміст сушильного агента, г/кг; W – вологість зерна, %; Θ – температура зерна, $^{\circ}\text{C}$; V – швидкість агента сушіння, м/с; c_n, c_3 – теплоємність повітря і зерна, $\text{kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$; ε – пористість зернового шару; S_v – питома поверхня зерен, $1/\text{м}$; r' – скрита теплота пароутворення води, kJ/kg ; α – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{kJ/kg}\cdot\text{с}\cdot^{\circ}\text{C}$; γ_3 – питома вага зерна, $\text{kg}/\text{м}^3$; γ_n – питома вага повітря, $\text{kg}/\text{м}^3$; P_3 – тиск водяної пари в зернівці, Па; P_n – тиск водяної пари в повітрі, Па.

При граничних умовах:

$$\begin{aligned} W(0, x) &= W_n; D(\tau, 0) = D_n; \\ \Theta(0, x) &= \Theta_n; t(\tau, 0) = t_n. \end{aligned}$$

Диференціальні рівняння спільно з початковими і граничними умовами визначають різноманітні критерії подібності, які дають можливість зробити узагальнення одиничних дослідів і використати їх для вивчення інших дослідів [6,7].

Якщо системи диференціальних рівнянь можуть бути вирішені, то теорія подібності і тут дає відповідну користь, що призводить до значного скорочення числа незалежних змінних.

У теорії подібності існує декілька способів визначення критеріїв. Використаємо спосіб приведення рівнянь фізичного процесу до безрозмірного виду [4]. Він заснований на відомій властивості фізичних рівнянь, яка полягає в тому, що всі члени рівняння фізичного процесу мають однакові розмірності відносно основних одиниць вимірювання. Розглянутий спосіб застосовується не тільки до алгебраїчних, але і до диференціальних і інтегральних рівнянь, оскільки операції диференціювання та інтегрування не впливають на однорідність рівняння. Наявність у рівняннях неоднорідних функцій не впливає на однорідність рівняння в цілому, оскільки відносно розмірних членів рівняння неоднорідні функції являють собою безрозмірні коефіцієнти. Рівняння після ділення на будь-який із його членів приводиться до безрозмірного виду. Опустивши символи диференціювання та інтегрування в безрозмірних членах рівняння, отримуємо вирази, які прийнято вважати критеріями подібності.

У загальному випадку рівняння фізичного процесу має вигляд:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n = \sum_1^n \varphi_i = 0,$$

де $\varphi_i = f(P_1, P_2, \dots, P_m)$ – однорідна функція параметрів елементів системи, а також і параметрів процесу та їх похідних.

При цьому кількість отриманих критеріїв на одиницю менша числа членів рівняння. Форма запису цих критеріїв залежить від того, на який член рівняння діляться всі інші. Цей спосіб називають способом інтегральних аналогів, і формулюється так: «Для визначення основних критеріїв подібності із рівняння, яке містить n членів, в будь-якій із можливих форм запису, необхідно провести ділення членів рівняння на будь-який із них, відкинувши при тому символи диференціювання та

інтегрування, а також неоднорідні функції» Загальна кількість критеріїв K , які знайдені способом інтегральних аналогів, буде:

$$K = (n - 1) + \alpha.$$

Відповідно до викладеного при знаходженні критеріїв подібності символ

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2},$$

де x, y, z – просторові координати, за умови дотримання геометричної подібності може бути замінений на $\frac{1}{l^2}$, l – характерний розмір, у нашому випадку – приведений радіус зернівки R .

Символ $grad$ замінюється відповідно на співвідношення $\frac{1}{l}$, $divgrad$ на $\frac{1}{l^2}$.

В.І. Аніскіним [1] для опису процесу тепловологообміну використано критеріальне рівняння, розроблене на основі системи диференціальних рівнянь, які наведені вище:

$$H_0 = \oint \left(K_0, \sigma_u, Re, \frac{d}{l} \right), \quad (5)$$

де H_0 – критерій гомохронності, характеризує масштабне перетворення часу і являє собою таку залежність:

$$H_0 = \frac{V \tau_B}{l},$$

де τ_B – час сушіння (вентилювання) шару товщиною l з початковою вологістю W_T до вологості W_K повітрям, що рухається зі швидкістю V ; K_0 – критерій Коссовича, який виражає специфічну форму критерію фазового перетворення і характеризує співвідношення між теплом, витраченим на випаровування води, і теплом, витраченим на нагрівання зерна.

$$K_0 = \frac{r \Delta W}{c_3 \Delta \theta}$$

де r – теплота пароутворення, kJ/kg (захована теплота пароутворення);

$$\Delta W = W_n - W_k, \%$$

c_3 – питома теплоємність зерна, $^{\circ}C \cdot kJ/kg$; $\Delta \theta$ – початковий температурний напір атмосферного повітря ($\Delta \theta = T_n - \theta_n$); T_n – температура повітря, що подається в шар зерна, $^{\circ}C$; θ_n – початкова температура зерна, $^{\circ}C$; σ_u – критерій Гухмана, який характеризує потенціальні можливості повітря як сушильного агента:

$$\sigma_u = \frac{T_c - T_m}{273 + T_c}.$$

де T_c – температура сушильного агента $T_c = T_n$, $^{\circ}C$; T_m – температура адіабатного насичення повітря (покази мокрого термометра), $^{\circ}C$; R_e –

критерій Рейнольдса, який характеризує гідродинамічний режим руху сушильного агента в зерновому шарі:

$$Re = \frac{V d_{np}}{\nu},$$

де d_{np} – приведений діаметр зерна, м; ν – кінематична в'язкість газу, m^2/c ; $\frac{d}{l}$ – критерій параметричного типу.

Із використанням результатів експериментів отримано [1] критеріальне рівняння для розрахунку терміну сушіння зерна в товстому шарі до кінцевої вологості $W_k = 14\%$, при постійній швидкості повітря V_{cp} :

$$H_o = 50,0 \cdot 10^{-5} \cdot K_o^{0,95} \cdot \sigma_u^{-1,9} \cdot Re^{0,31} \cdot \left(\frac{d_{np}}{l}\right)^{-0,07}. \quad (6)$$

Це критеріальне рівняння не описує процеси, які відбуваються в зернівці, коли вона піддається дії НВЧ-поля без конвективного сушіння. Щоб отримати таку залежність, звернемося до систем диференціальних рівнянь.

Використаємо метод інтегральних аналогів для визначення інтегральних виразів.

$$\begin{cases} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \alpha \nabla^2 \theta + \frac{Q_{пит}}{c \cdot \rho} \\ \frac{\partial P}{\partial \tau} = \alpha_p \nabla^2 P. \end{cases} \quad (7)$$

У першому рівнянні системи (7) розділимо кожен член правої і лівої частин рівняння на $\frac{a}{R^2}$, у результаті отримаємо:

$$\frac{R^2}{\alpha \cdot \tau} = \frac{1}{F_o}.$$

де F_o – критерій Фур'є, використовується для опису однорідності процесів у часі.

$\frac{P_{пит} \cdot R^2}{\alpha \cdot \rho \cdot c} = P_o$ – критерій Померанцева.

Аналогічні дії з другим рівнянням системи (7) дає конвективний критерій Фур'є $F_{op} = \frac{\alpha_p \cdot \tau}{R^2}$. Таким чином, активація зернового шару в НВЧ-активній зоні може бути описана таким виразом:

$$F_o = \Phi(P_o, F_{op})$$

або

$$F_o = K_1 P_o^{x_1} F_{op}^{y_1}, \quad (8)$$

де K_1, x_1, y_1 визначають експериментально.

Після припинення НВЧ-дії, стан зернового шару може бути описаний тільки двома критеріями F_o і F_{op} :

$$F_{opr} = K_2 F_o^{z_1}. \quad (9)$$

де $F_{opr} = \frac{\alpha_{pr} \tau}{R^2}$; z_1 – показник степеня; α_{pr} – показник степеня конвективного теплообміну при релаксації тиску.

Метою використання НВЧ–активної зони в процесі активного вентилявання зерна є інтенсифікація процесу сушіння.

Тому зразу після НВЧ–активації зерно необхідно піддати активному вентиляванню.

$$\begin{cases} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \alpha \cdot \nabla^2 \theta \\ \frac{\partial P}{\partial \tau} = \alpha_p \cdot \nabla^2 P \end{cases} \quad (10)$$

Відповідно, система рівнянь(10) і критеріальне рівняння (9) описують стан зернового шару протягом дуже малого проміжку часу поки зерновий шар не вийшов із зони дії магнетрона і не став просипатися в бункер активного вентилявання. В процесі руху зернового шару із активної зони в зону активного вентилявання воно вже обдувається повітрям, тому в системі рівнянь повинні бути присутні вирази для конвективного сушіння зерна.

Виходячи із викладеного, повна система критеріальних рівнянь, які описують процес тепловологообміну в зерновому шарі при НВЧ–активації та активному вентиляванні, буде виглядати так:

$$\begin{cases} F_o = K_1 P_o^{x_1} F_{op}^{y_1}; \end{cases} \quad (11.1)$$

$$\begin{cases} F_{opr} = K_2 F_o^{z_1}; \end{cases} \quad (11.2)$$

$$\begin{cases} H_o = K_3 \sigma_u^{x_2} Re^{y_2} F_{opr}^{z_2}; \end{cases} \quad (11.3)$$

$$\begin{cases} H_o = K_4 K_c^{x_3} \sigma_u^{x_4} Re^{y_3} \left(\frac{d}{l}\right)^{y_4} F_{opr}^{z_3}; \end{cases} \quad (11.4)$$

$$\begin{cases} H_o = K_5 K_o^{x_5} \sigma_u^{x_6} Re^{y_5} \left(\frac{d}{l}\right)^{y_6}. \end{cases} \quad (11.5)$$

Рівняння (11.1) описує процес активації зерна в НВЧ–зоні. Рівняння (11.2) описує короткотерміновий процес переходу всередині активної зони за межі границь дії НВЧ–поля. Рівняння (11.3) описує зміни стану зернового шару на шляху активної зони в бункер активного вентилявання. Вираз (11.4) описує процес сушіння НВЧ–активованого зерна в бункері активного вентилявання. Рівняння (11.5) описує процес сушіння зерна активним вентиляванням після вирівнювання температури зернівки.

Оскільки процеси, які описуються рівняннями (11.2) і (11.3), недовготривалі, виключимо їх із рівнянь. Скорочена система критеріальних рівнянь запишеться:

$$\begin{cases} F_o = K_1 P_o^{x_1} F_{op}^{y_1}; \\ H_o = K_4 K_c^{x_3} \sigma_u^{x_4} Re^{y_3} \left(\frac{d}{l}\right)^{y_4} F_{opr}^{z_3}; \\ H_o = K_5 K_o^{x_5} \sigma_u^{x_6} Re^{y_5} \left(\frac{d}{l}\right)^{y_6}. \end{cases} \quad (12)$$

Для експериментального визначення величини коефіцієнтів $K_1, K_4, K_5, x_1, y_1, x_3, x_4, y_3, y_4, x_5, x_6, y_5, y_6$ необхідно таким чином побудувати проведення експериментів, щоб для кожного постійного значення визначаючого критерію знайти достатньо великий ряд значень невизначаючого критерію. Розкриємо всі критерії в рівняннях і визначимо фактори, які необхідно врахувати в експерименті і діапазони їх варіювання.

$$F_o = \frac{\alpha \cdot \tau}{R^2}; F_{op} = \frac{\alpha_p \cdot \tau}{R^2}; F_{opr} = \frac{\alpha_{pr} \tau}{R^2}; P_o = \frac{Q_v R^2}{\lambda \Delta \Theta};$$

$$K_o = \frac{r \cdot \Delta W}{c_s \cdot \Delta \Theta_1}; \sigma_u = \frac{T_c - T_m}{273 + T_c}; Re = \frac{V R d_{np}}{\nu l}.$$

де $\Delta \Theta = T_n - \Theta_{z.c.p.}$; T_n – температура повітря, за якої проводять сушіння зерна активним вентиляванням, °C; $\Theta_{z.c.p.}$ – середня температура зерна після активації; $\Theta_{z.c.p.} = \frac{\Theta_u - \Theta_n}{2}$; l – товщина шару, м.

Перепишемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\alpha \tau}{R^2} = K_1 \left(\frac{Q_v R^2}{\lambda \Delta \Theta} \right)^{x_1} \left(\frac{\alpha_p \cdot \tau}{R^2} \right); \\ \frac{\alpha_{pr} \tau}{R^2} = K_4 \left(\frac{r \cdot \Delta W}{c_s \cdot \Delta \Theta_1} \right)^{x_2} \left(\frac{T_c - T_m}{273 + T_c} \right)^{x_4} \left(\frac{V \cdot R}{\nu} \right)^{y_2} \left(\frac{d_{np}}{l} \right)^{y_4}; \\ \frac{V \tau}{l} = K_5 \cdot \left(\frac{r \Delta W}{c_s \Delta \Theta} \right)^{x_5} \left(\frac{T_c - T_m}{273 + T_c} \right)^{x_6} \left(\frac{V \cdot R}{\nu} \right)^{y_5} \left(\frac{d_{np}}{l} \right)^{y_6}. \end{cases}$$

Методика визначення коефіцієнтів критеріального рівняння передбачає виділення залежного (невизначаючого) критерію. У такому випадку – це F_o і знаходження експериментальним шляхом множини точок залежності цього критерію від одного із визначаючих критеріїв (F_o, F_{op}) при постійності другого визначаючого критерію, тобто при проведенні експерименту для визначення коефіцієнтів для рівняння (11.1), необхідно забезпечити постійність одного із критеріїв (P_o, F_{op}), що неможливо, оскільки $\Delta \Theta = f(\tau) \rightarrow P_o = f(\tau), F_{op} = f(\tau)$.

Тому доречно замінити критеріальне рівняння (11.1) функціональною залежністю такого виду:

$$\Delta \Theta = f(Q_v, W, \tau).$$

Тоді система рівнянь, яка описує зміну температури й вологості зернового шару при НВЧ-активації, сушіння активованого зерна і сушіння зерна активним вентиляванням буде мати вигляд:

$$\begin{cases} \Delta \Theta = f(Q_v, W, \tau); \\ \frac{\alpha_{pr} \tau}{R^2} = K_4 \left(\frac{r \cdot \Delta W}{c_s \cdot \Delta \Theta_1} \right)^{x_2} \left(\frac{T_c - T_m}{273 + T_c} \right)^{x_4} \left(\frac{V \cdot R}{\nu} \right)^{y_2} \left(\frac{d_{np}}{l} \right)^{y_4}; \\ \frac{V \tau}{l} = K_5 \left(\frac{r \cdot \Delta W}{c_s \cdot \Delta \Theta} \right)^{x_5} \left(\frac{T_c - T_m}{273 + T_c} \right)^{x_6} \left(\frac{V \cdot R}{\nu} \right)^{y_5} \left(\frac{d_{np}}{l} \right)^{y_6}. \end{cases}$$

Ця система рівнянь дозволить оцінити дію НВЧ–активації на інтенсивність сушіння зерна в бункерах активного вентилявання. В більшості вона містить якісний характер, але дозволяє порівняно оцінити ефективність використання НВЧ.

Оскільки в системі використовується вираз для однієї із рухомих сил процесу $\Delta\theta = f(Q_v, W, \tau)$, то доцільно експериментально підтвердити його застосування.

Висновки. Отримана критеріальна модель НВЧ–активації і сушіння зерна активним вентиляванням дозволяє оцінити ефективність використання НВЧ–поля на підвищення інтенсивності сушіння зерна активним вентиляванням.

Визначена повна система критеріальних рівнянь, які описують процес тепло–вологообміну в зерновому шарі при НВЧ–активації та активному вентиляванні: описано процес активації зерна в НВЧ–зоні; короткотерміновий процес переходу всередині активної зони за межі границь дії НВЧ–поля; зміни стану зернового шару на шляху активної зони в бункер активного вентилявання; процес сушіння НВЧ–активованого зерна в бункері активного вентилявання; процес сушіння зерна активним вентиляванням після вирівнювання температури зернівки.

Список літератури

- 1.Анискин В.И. Теория и технология сушки и временной консервации зерна активным вентилярованием / В.И. Анискин, В.А. Рыбачук. – М.: Колос, 1972. – 199 с.
- 2.Білик С.Г. Застосування електромагнітного поля надвисокої частоти для процесу сушіння зерна / С.Г. Білик, В.Я. Бунько, А.П. Марисюк // Енергетика і автоматика. – 2013. – №2. – С.5–13.
- 3.Бородин И.Ф. Применение СВЧ-энергии в сельском хозяйстве / Бородин И.Ф., Шарков Г.А., Горин. А.Д. – М.: ВНИИТЭИ агропром, 1987. – 56 с.
- 4.Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло- массообмена / А.А.Гухман.– М.: Высш.шк., 1967. – 303 с.
- 5.Жидко В.И. Зерносушение и зерносушилки / Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С. – М.: Колос, 1982. – 239 с.
- 6.Лыков А.В. Исследование процессов сушки в поле высокой частоты / А.В.Лыков, Г.А.Максимов // Тепло- и массообмен в капиллярно-пористых телах. – Л., М.: Госэнергоиздат, 1973. – 535 с.
- 7.ЛыковА.В. Теория тепло- и массопереноса / А.В.Лыков, Ю.А.Михайлов. – Л., М.: Госэнергоиздат, 1973. – 535 с.
- 8.Обґрунтування принципів конвективного сушіння зерна із застосуванням НВЧ-технологій / С.Г. Білик, І.В. Калиній, В.Я. Бунько, А.П. Марисюк // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2014. Вип.194, ч.1. – С.112–119.

Получено критериальное уравнение для расчета длительности сушки зерна в толстом слое до конечной влажности при постоянной скорости воздуха. Приведена полная система критериальных уравнений, которые описывают процесс тепло– и влагообмена в зерновом слое при СВЧ–активации и активном вентиляровании.

Активное вентилирование, температурный градиент, сушильный агент, граничные условия, критерии подобия, дифференциальные уравнения, тепло- и влагообмен, СВЧ-активация, критериальные уравнения.

It is received criteria equations for calculation of duration of grain drying in thick layer to final humidity at constant air speed. It is given full system of criteria equations which describe process of warm moisture exchange in grain layer at superhigh frequency of activation and active ventilation.

Active aeration, temperature gradient, drying agent, boundary conditions, criteria of similarity, differential equations, warm and moisture exchange, superhigh frequency activation, criteria equations.

УДК 533:621.044:62-63/64

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ ЖИДКИХ КОМПОЗИТНЫХ БИОТОПЛИВ

**Ю.А. КОЖЕВНИКОВ, В.Г. ЧИРКОВ, кандидаты технических наук
Ю.М. ЕГОРОВ, В.Г. НИКОЛАЕВ, инженеры
Ю.М. ЩЕКОЧИХИН, доктор химических наук
ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского
хозяйства», г. Москва**

Рассмотрен вопрос оптимального расположения СВЧ-излучателей в топочной камере при сжигании композитных биотоплив. Учитываются физические процессы взаимодействия плазменного факела с внешним магнитным полем. Предложены решения по разработке конструкции плазменной горелки.

Магнитное поле, плазмохимические реакции, композитные биотоплива, геометрия тороидального сердечника, окружности Вилларсо, конструкция горелки.

Для сжигания композитных биотоплив и ускорения химических реакций в топочной камере использовалось внешнее магнитное поле индукционных силовых катушек в форме тора. Магнитное поле индукционных силовых катушек в форме тора носит ярко выраженный вихревой характер. Проведено более детальное исследование процессов электродинамики и электромагнитного поля индукционных силовых катушек в форме тора на базе уравнений и теорем математической физики.

В результате получены уравнения, которые и составляют основу дальнейшего описания физико-химических процессов, протекающих в

© Ю.А. КОЖЕВНИКОВ, В.Г. ЧИРКОВ, Ю.М. ЕГОРОВ,
В.Г. НИКОЛАЕВ, Ю.М. ЩЕКОЧИХИН, 2015

Активное вентилирование, температурный градиент, сушильный агент, граничные условия, критерии подобия, дифференциальные уравнения, тепло- и влагообмен, СВЧ-активация, критериальные уравнения.

It is received criteria equations for calculation of duration of grain drying in thick layer to final humidity at constant air speed. It is given full system of criteria equations which describe process of warm moisture exchange in grain layer at superhigh frequency of activation and active ventilation.

Active aeration, temperature gradient, drying agent, boundary conditions, criteria of similarity, differential equations, warm and moisture exchange, superhigh frequency activation, criteria equations.

УДК 533:621.044:62-63/64

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ ЖИДКИХ КОМПОЗИТНЫХ БИОТОПЛИВ

**Ю.А. КОЖЕВНИКОВ, В.Г. ЧИРКОВ, кандидаты технических наук
Ю.М. ЕГОРОВ, В.Г. НИКОЛАЕВ, инженеры
Ю.М. ЩЕКОЧИХИН, доктор химических наук
ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского
хозяйства», г. Москва**

Рассмотрен вопрос оптимального расположения СВЧ-излучателей в топочной камере при сжигании композитных биотоплив. Учитываются физические процессы взаимодействия плазменного факела с внешним магнитным полем. Предложены решения по разработке конструкции плазменной горелки.

Магнитное поле, плазмохимические реакции, композитные биотоплива, геометрия тороидального сердечника, окружности Вилларсо, конструкция горелки.

Для сжигания композитных биотоплив и ускорения химических реакций в топочной камере использовалось внешнее магнитное поле индукционных силовых катушек в форме тора. Магнитное поле индукционных силовых катушек в форме тора носит ярко выраженный вихревой характер. Проведено более детальное исследование процессов электродинамики и электромагнитного поля индукционных силовых катушек в форме тора на базе уравнений и теорем математической физики.

В результате получены уравнения, которые и составляют основу дальнейшего описания физико-химических процессов, протекающих в

© Ю.А. КОЖЕВНИКОВ, В.Г. ЧИРКОВ, Ю.М. ЕГОРОВ,
В.Г. НИКОЛАЕВ, Ю.М. ЩЕКОЧИХИН, 2015

топочной камере котла для эффективного сжигания биотопливных смесей при воздействии внешних магнитных полей тороидальной катушки.

При проведении испытаний по сжиганию композитных биотопливных дисперсных топливных смесей в условиях одновременного воздействия электромагнитного СВЧ–поля и ультразвуковой кавитации на процесс горения было установлено, что в определенных условиях [3, 7, 8], особенно при большом содержании водной фракции, имеет место нестабильность горения дисперсной среды [3, 6], что не позволяет оптимизировать процесс при увеличении скорости потока и повысить КПД тепловой установки в целом [3, 8].

Цель исследований – изучение влияния магнитного поля на процесс плазмохимического горения жидких композитных биотоплив.

Материалы и методика исследований. Для оптимизации необходимо более детально исследовать механизмы воздействия магнитного поля на топливные смеси на всех этапах процесса, включая не только стадию непосредственного сжигания, но и стадию формирования струи перед подачей ее в топочное устройство. В этой связи рассматриваются два подхода формирования магнитного поля требуемой конфигурации.

В нашей системе изначально присутствуют два типа волн:

- ультразвуковые волны в топливной смеси, подаваемой через форсунку в камеру горения;
- электромагнитные волны СВЧ, излучаемые плазмотронами и воздействующие на частицы топливной смеси.

Результаты исследований.

Плазма в топочной камере. Плазмой принято считать особое агрегатное состояние вещества, в котором оно представляет собой частично или полностью ионизованный газ. От обычного газа плазму отличает то, что она содержит достаточно большую концентрацию заряженных частиц – электронов и ионов, движение которых создают магнитные поля, и обратно, магнитные поля влияют на движение заряженных частиц.

На наличие электрических зарядов в пламени указал Томсон, который утверждал следующее: *«электрическое поле может быть использовано для интенсификации процессов горения».*

Наличие в пространстве топочной камеры внешнего магнитного поля обеспечивает дополнительное воздействие на движущиеся заряды, прежде всего на электроны, которые приобретая энергию в СВЧ–поле, способны к образованию активных радикалов, инициирующих разветвленно-цепные реакции. При этом создаются благоприятные условия для быстрого и полного сгорания композитных биотопливных эмульсий и суспензий.

Создание внешнего магнитного поля плазмы.

Известно, что самое сильное магнитное поле создает тороидальная система проводника, по которой течет электрический ток.

Тороидальная поверхность – это поверхность вращения, получаемая вращением образующей окружности вокруг оси, лежащей в плоскости этой

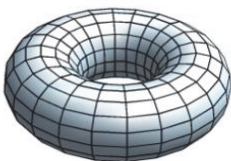


Рис.1. Тор

окружности (рис. 1). Уравнение тора с расстоянием от центра образующей окружности до оси вращения R и радиусом образующей окружности r имеет следующий вид в прямоугольной системе координат:

$$(x^2 + y^2 + z^2 + R^2 - r^2)^2 - 4R^2(x^2 + y^2) = 0 \quad (1)$$

Это уравнение содержит четвертую степень координат и, следовательно, тор является поверхностью четвертого порядка.

Площадь поверхности тора

$$S = 4\pi^2 Rr. \quad (2)$$

Объем тела, ограничиваемого тором,

$$V = 2\pi^2 Rr^2. \quad (3)$$

При сечении тора бикасательной плоскостью, получается кривая четвертого порядка, а кривая пересечения представляет собой объединение двух окружностей, называемых окружностями Вилларсо (рис. 2).

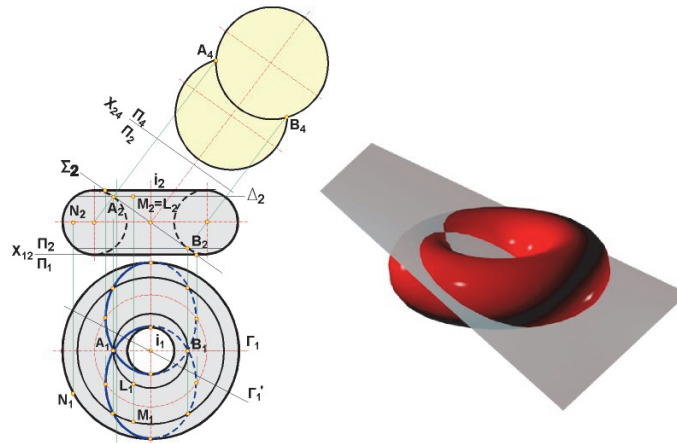


Рис.2. Окружности Вилларсо

Параметрическое уравнение тора с расстоянием от центра образующей окружности до оси вращения R и радиусом образующей окружности r может быть задано в виде:

$$\begin{cases} x(\varphi, \psi) = (R + r \cos \varphi) \cos \psi \\ y(\varphi, \psi) = (R + r \cos \varphi) \sin \psi \\ z(\varphi, \psi) = r \sin \varphi \end{cases} \quad \varphi, \psi \in [0; 2\pi) \quad (4)$$

Параметрическое уравнение тора $R=2, r=1$:

$$\text{Tor}(u, v) := \begin{bmatrix} (2 + \cos(u)) \cdot \cos(v) \\ (2 + \cos(u)) \cdot \sin(v) \\ \sin(u) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\text{Vil}(t) := \begin{pmatrix} 2 \cdot \cos(t) + 1 \\ \sqrt{2^2 - 1^2} \cdot \sin(t) \\ 1 \cdot \sin(t) \end{pmatrix} \quad (6)$$

Проведено исследование свойств тора: как необходимо расположить СВЧ-плазмотроны (свечи для поджига) и какие должны быть у них параметры, чтобы обеспечить максимальную скорость образования свободных радикалов. При этом выяснено, что установить

СВЧ–плазмотроны необходимо так, чтобы поджиг топливной смеси осуществлялся в плоскости окружностей Вилларсо.

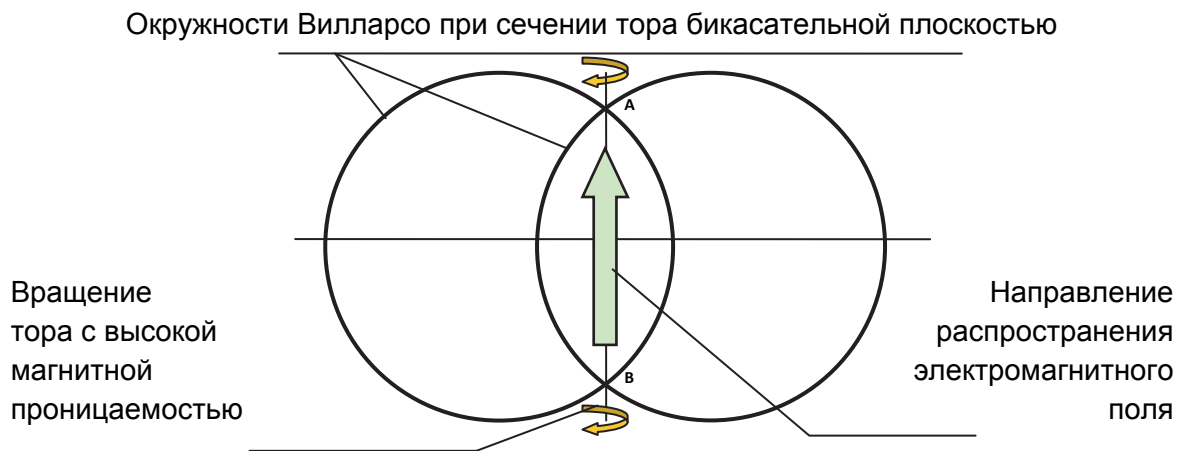


Рис. 3. Принцип наложения длинноволновой составляющей на коротковолновое (СВЧ) электромагнитное излучение

На рис. 3 показано как можно использовать сечение тора для наложения (без искажений) СВЧ–волн в топочной камере.

Конструкция горелки. В предлагаемой конструкции топочной камеры с СВЧ–плазмотронами в отличие от существующих технических решений предлагается применить следующее (рис. 4).

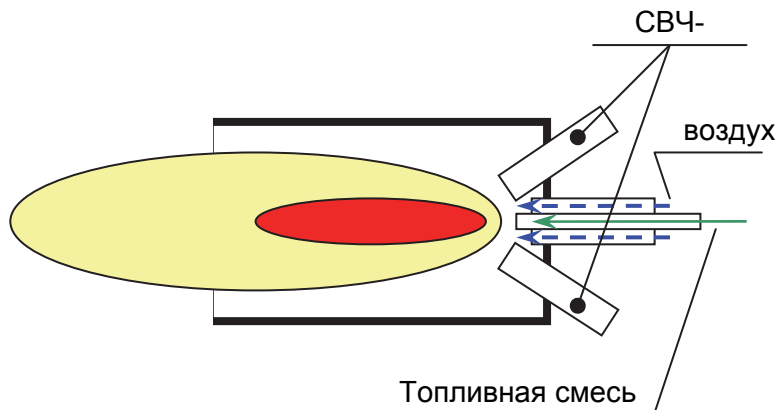


Рис. 4. Схема конструкции и горение в топочной камере

СВЧ–плазмотроны расположены под наклоном 30° к оси симметрии форсунки по плоскостям окружностей Вилларсо.

Для подавления процесса амбиполярной диффузии заряженных частиц в топочной камере установлен внутренний экран (рис.5).

Приведем оценочный расчет геометрии топочной камеры. Предполагаем, что мощность теплового потока на паровую турбину прямо пропорциональна проводимости и температуре ионизированного газа, квадрату скорости газового потока и квадрату напряженности

внешнего магнитного поля, воздействующего на факел в топочной камере. В общем виде это выразится следующей зависимостью:

$$P \sim \lambda I V^2 H^2, \quad (7)$$

где P – мощность теплового потока, Вт; λ – проводимость вещества; V – скорость потока, м/с; H – напряженность магнитного поля, А/м; T – температура, К.

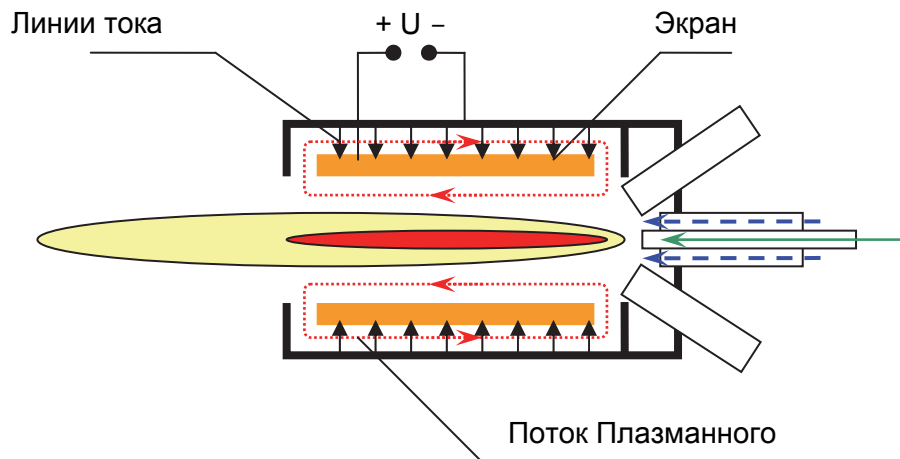


Рис. 5. Схема конструкции и горение в камере с внутренним экраном

При работе СВЧ–плазмотронов на частоте 2,45 МГц имеем длину волны в 12,245 см, т.к.

$$\lambda = c/f, \quad (8)$$

где $c = 300\,000$ км/с – скорость света; f – частота электромагнитного поля, Гц, λ – длина волны, м.

Отсюда можно определить параметры некоторых элементов конструкции. Внутренний диаметр экрана должен быть больше 12,45 см.

Высота цилиндра, используемого в качестве экрана должна быть более $12,245 \times 1,5 = 18,37$ см.

Зазор между внутренней стенкой камеры сгорания и внешней стенкой цилиндра должен быть меньше 6,22 см.

Выполнение пунктов 1 и 2 обуславливает беспрепятственное распространение СВЧ–поля непосредственно в области воспламенения. Выполнение п.3 обеспечивает нераспространение переменного СВЧ–поля в пространстве между внутренней стенкой топочной камеры и внешней стенкой экрана.

На рис. 6 показана конструкция топочной камеры с применением внешнего магнитного поля.

Выводы. В результате проведенных исследований выяснено, что СВЧ–плазмотроны необходимо устанавливать так, чтобы поджиг топливной смеси осуществлялся в плоскости окружностей Вилларсо. Рассмотрены физические процессы взаимодействия плазменного факела с внешним магнитным полем, что позволило разработать конструкцию плазменной горелки.

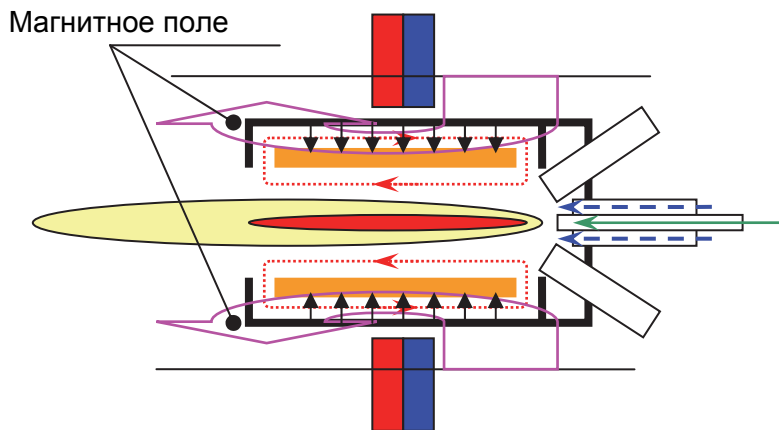


Рис. 6. Схема конструкции и горение в камере с внутренним экраном в присутствии постоянного магнита

Список литературы

1. Блинов В.И. Диффузионное горение жидкостей / В.И. Блинов, Г.Н. Худяков. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 210 с.
2. Волков А.Н. Сжигание газов и жидкого топлива в котлах малой мощности / А.Н. Волков. – Л.: Недра, 1989. – 160 с.
3. Кожевников Ю.А. Исследование воздействия электромагнитного СВЧ-поля и ультразвуковой кавитации на концентрацию сероорганических соединений в котельных топливах / Кожевников Ю.А. и др. // Тр. 8-ой Междунар. науч.-техн. конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве», 16-17 мая 2012 г., Москва. Ч.4. Возобновляемые источники энергии. Энергоресурсы. Экология. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. – С. 217–225.
4. Лавров Н.В. Введение в теорию горения и газификации топлива / Н.В. Лавров, А.П. Шурыгин. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 216 с.
5. Мак–Таггарт Ф. Плазмохимические реакции в электрических разрядах / Ф. Мак–Таггарт. – М.: Атомиздат, 1972. – 256 с.
6. Основы практической теории горения / [Померанцев В.В., Арефьев К.М., Ахмедов Д.Б. и др.]. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.
7. Пат. №117579 Российская Федерация. Гибридная ультразвуковая горелка СВЧ-поджигом для низкокалорийных, жидких эмульсионных и суспензионных топлив / Кожевников Ю.А., Сербин В.В., Егоров Ю.М., Чирков В.Г., Сербина Е.В., Кожевникова Д.А., Росс М.Ю., Эфендиева Л.Г.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВИЭСХ. – № 2011153581/06; заявл. 28.12.11; опубл. 27.06.12, Бюл. №18.
8. Пат. №133433 Российская Федерация. Установка электромагнитной обработки водо-топливных смесей / Столбов Н.В., Прокудин Ю.А., Зиновьев А.В., Емельянцева С.В., Щекочихин Ю.М., Кожевников Ю.А., Чирков В.Г., Чирков С.В., Чижиков А.Г., Росс М.Ю.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВИЭСХ. – № 2013123103/05; заявл. 21.05.13; опубл. 20.10.13, Бюл. №14.

Розглянуто питання оптимального розташування НВЧ-випромінювачів в топковій камері при спалюванні композитних біопалив. Враховуються фізичні процеси взаємодії плазмового факела з зовнішнім магнітним полем. Запропоновано рішення з розробки конструкції плазмового пальника.

Магнітне поле, плазмохімічні реакції, композитні біопалива, геометрія тороїдального осердя, коло Вілларсо, конструкція пальника.

In the article the question of the optimal location of plasma microwave emitters in the combustion chamber for burning composite biofuels. Taking into account the physical processes of interaction of plasma particles with an external magnetic field. Based on the above proposed solutions for designing the plasma torch.

Magnetic field, the plasma particles, recommendations Thomson magnetic field, frozen toroidal core geometry, circle Willarso, burner design, power generator.

УДК 631.3

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ДОИЛЬНЫЙ АППАРАТ С ПОЧЕТВЕРТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРОЦЕССОМ ДОЕНИЯ

©Ю.А. ЦОЙ, доктор технических наук, чл.-корр. РАН

В.В. КИРСАНОВ, доктор технических наук

Д.Ю. ПАВКИН, аспирант*

ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва

Приведены методы и направления исследований процессов и физических закономерностей функционирования сложных биотехнических систем «человек- машина- животное» в условиях высокой вариабильности морфологических и лактогенетических признаков биологических объектов при машинном доении коров. Рассмотрены условия физиологически безопасного процесса доения по отдельным четвертям вымени. Предложена структурная схема адаптивного доильного аппарата.

Биотехническая система, адаптивный доильный аппарат, почетвертное доение, управление доением, схема.

Фундаментальной научной проблемой (целью) машинного доения коров является исследование морфологических и лактогенетических признаков биологических объектов, включающих точное физиологически адекватное взаимодействие исполнительных механизмов (вакуумных доильных аппаратов) с выменем животных с целью более полной реализации их генетического потенциала на основе исследования и оптимизации электрофизических методов стимуляции рефлекса

© Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Ю.А. Цой
©Ю.А. ЦОЙ, В.В. КИРСАНОВ, Д.Ю. ПАВКИН, 2015

Магнітне поле, плазмохімічні реакції, композитні біопалива, геометрія тороїдального осердя, коло Вілларсо, конструкція пальника.

In the article the question of the optimal location of plasma microwave emitters in the combustion chamber for burning composite biofuels. Taking into account the physical processes of interaction of plasma particles with an external magnetic field. Based on the above proposed solutions for designing the plasma torch.

Magnetic field, the plasma particles, recommendations Thomson magnetic field, frozen toroidal core geometry, circle Willarso, burner design, power generator.

УДК 631.3

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ДОИЛЬНЫЙ АППАРАТ С ПОЧЕТВЕРТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРОЦЕССОМ ДОЕНИЯ

©Ю.А. ЦОЙ, доктор технических наук, чл.-корр. РАН

В.В. КИРСАНОВ, доктор технических наук

Д.Ю. ПАВКИН, аспирант*

ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва

Приведены методы и направления исследований процессов и физических закономерностей функционирования сложных биотехнических систем «человек- машина- животное» в условиях высокой вариабельности морфологических и лактогенетических признаков биологических объектов при машинном доении коров. Рассмотрены условия физиологически безопасного процесса доения по отдельным четвертям вымени. Предложена структурная схема адаптивного доильного аппарата.

Биотехническая система, адаптивный доильный аппарат, почетвертное доение, управление доением, схема.

Фундаментальной научной проблемой (целью) машинного доения коров является исследование морфологических и лактогенетических признаков биологических объектов, включающих точное физиологически адекватное взаимодействие исполнительных механизмов (вакуумных доильных аппаратов) с выменем животных с целью более полной реализации их генетического потенциала на основе исследования и оптимизации электрофизических методов стимуляции рефлекса

© Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Ю.А. Цой
©Ю.А. ЦОЙ, В.В. КИРСАНОВ, Д.Ю. ПАВКИН, 2015

молокоотдачи, процессов молоковыведения для создания адаптивных мехатронных систем машинного доения с отдельным выдаиванием отдельных четвертей вымени, применением рабочих органов (сосковой резины) с антимикробным наноагентом, защищающим соски животных от бактериальных инфекций и биосенсорных устройств контроля и управления процессом доения, обеспечивающих повышение полноты выдаивания, сохранение продуктивного долголетия животных и получение высококачественного молока [6].

Для решения данной проблемы предлагается решить следующие задачи:

- исследовать и определить основные закономерности адаптивного процесса молоковыведения из отдельных четвертей вымени коров изменяющимся пульсирующим вакуумом (уровень, частота пульсаций, соотношение тактов и др.) в условиях высокой вариабельности параметров биологических объектов (форма и размеры вымени коров) и неустойчивости сохранения стереотипа доения при наличии стрессов у животных [4,5];

- исследовать механизм тактильной стимуляции рефлекса молокоотдачи и изучить ответные реакции на наносимые животным раздражения различными биосенсорными устройствами и электрофизическими методами;

- исследовать динамику переходных процессов управляющего пульсирующего вакуума для привода исполнительных механизмов (доильных стаканов) с оптимальным щадящим воздействием на молочную железу животного;

- разработать алгоритм управления процессом доения при изменяющихся текущих значениях величины молочного потока по отдельным четвертям вымени с разработкой алгоритма и мехатронных средств его реализации на основе синхронизации физиологически безопасного выдаивания и отключения от вакуума отдельных долей вымени;

- разработать макетный образец адаптивной системы машинного доения коров, включающей оптимальные соотношения величины управляющего пульсирующего вакуума между передними и задними четвертями вымени, физиологически адекватные режимы стимуляции и доения, способы измерения потока молока, обеспечивающие полное одновременное и безопасное извлечение молока из отдельных четвертей вымени коров за эффективный период действия (5...7 мин) гормона молокоотдачи окситоцина.

Цель исследований – разработка автоматизированного доильного аппарата с почетвертным управлением процессом доения.

Материалы и методика исследований. Для более точного определения основных параметров разрабатываемой биотехнической системы необходимо изучить отечественный и мировой опыт в данной области исследований. Следует отметить, что наиболее полная реализация данной концепции может быть достигнута в роботизированных системах доения [7].

Одной из основных проблем в процессе создания адаптивной доильной машины является синхронизация скорости молокоотдачи и скорости молоковыведения по отдельным четвертям вымени с последующим отключением выдоенных долей, что позволило бы исключить их «сухое» доение и, как следствие, снизить заболевание коров маститом.

При этом важным учитываемым признаком для сокращения продолжительности холостого доения и сохранения здорового вымени является соотношение или пропорция удоев четвертей в общей продуктивности вымени и его индекс – объективный показатель развития и функционального состояния долей вымени.

Изучая эти и другие признаки, ученые отмечают неодновременность выдаивания отдельных долей вымени, а также продолжительность холостого доения первой опорожнившейся доли (Гарькавый Ф.Л., 1969; Легошин Г.П. с колл., 1971; Старков В.В., 1968; Хамори Д., 1971; Захарян Ж.С., 1972), делая вывод о том, что продолжительное воздействие (более 1,5–2 мин) доильного аппарата на выдоенную долю может способствовать возникновению у коров маститов. В то же время значительная неравномерность продуктивности долей часто появляется после маститов вследствие разрушения железистой ткани и части выводных протоков. Иными словами, неодновременность выдаивания, или холостое доение отдельных долей, и маститы взаимосвязаны, выступая поочередно в роли причины и следствия. [1].

Решить эту на первый взгляд простую задачу на самом деле не так просто. Одной из первых эту проблему пыталась решить американская фирма «Перфекшн», выпускавшая доильные аппараты с отключателями выдоившихся сосков, расположенные на доильном ведре, которое подвешивается под брюхом коровы. В этом случае доильный стакан, упавший с соска не падает в грязь. При доении в молокопровод эта задача усложняется, поскольку отключение отдельных стаканов от вакуума без дополнительной их поддержки приведет к их неминуемому спаданию с вымени и затруднит выдаивание других долей (чаще всего задних).

Поэтому предлагается компромиссный вариант: отключение индивидуальной пульсации выдоенных сосков (Фирма «Милклайн», Италия) в такте сжатия с сохранением номинального подсоскового вакуума или снижение последнего до физиологически безопасного предела (33 кПа – известный бренд «Дуовак-300» компании Де Лаваль) без снятия аппарата с вымени, при этом сохраняется опасность холостого доения, особенно в последнем варианте. Более радикальное решение – это индивидуальное снятие доильных стаканов с вымени, реализованное в конструкции доильного аппарата фирмы IMPULSA AG Elsterwerda (Германия) под названием «Мультилактор», который не имеет коллектора, что позволяет подключать и отключать доильные стаканы независимо. Однако бесколлекторный вариант подвесного доильного аппарата сложно реализовать без специальной механической поддержки на линейных доильных установках, которые имеют в России широкое распространение. Для этих целей академик Л.П. Кормановский

предлагает использовать специальную дугу, навешиваемую на корову и поддерживающую доильные стаканы при их надевании и отключении.

Так же известен доильный аппарат с изменяющейся интенсивностью выдаивания передних и задних долей вымени, созданный в Латвийской СХА на кафедре механизации животноводства И.И. Гриневичем и Г.Г. Палкиным [2].

Принципиальное отличие доильного аппарата – уменьшение такта сосания в передних доильных стаканах по сравнению с его длительностью для задних. Это позволяет сблизить моменты окончания выведения молока из передних и задних четвертей. Кроме этого, аппарат обеспечивает и асинхронный режим работы. Такой режим воздействия на обе части вымени, по мнению авторов, имеет ряд преимуществ перед традиционным способом доения.

Более сложной является проблема синхронизации скоростей молокоотдачи и молоковыведения, решение которой наиболее целесообразно с помощью специальных сенсоров, определяющих степень наполнения молоком молочной цистерны и соответствующее адаптивное формирование управляющего пульсирующего вакуума по отдельным четвертям вымени животных.

Таким образом, основная задача исследований сводится к синхронизации процессов молокоотдачи животным и молоковыведения (отсасывающей способности доильного аппарата) по четвертям вымени с управлением по рефлексу молокоотдачи.

Результаты исследований. Структурная схема предлагаемого доильного аппарата может выглядеть следующим образом (рис. 1).

На основании исходных требований был разработан экспериментальный образец автоматизированного переносного доильного аппарата для установок с линейным молокопроводом.

Автоматизированный доильный аппарат имеет два исполнения:

- исполнение 01 с автоматическим управлением процесса доения, учетом и индикацией индивидуальных надоев молока;
- исполнение 02 дополнительно включает устройство ввода номера животного, накопление, съем и передачу информации в компьютер.

В состав доильного аппарата (рис.2) входит: подвесная часть 1, электронный пульсатор попарного действия с регулируемыми параметрами 2, счетчик-датчик измерения количества и потока молока с отключением доильных стаканов 3, пневмоцилиндр автосъема стаканов с вымени коровы 4, электронный блок управления процессом доения 5, комплект молоко-вакуумных шлангов и устройство подключения к молокопроводу с разъемом для электропитания 24 В 6. В исполнение 02 включено дополнительно устройство ввода номера животного, накопление, съем и передача информации в компьютер. Счетчик-датчик обеспечивает дискретное непрерывное измерение потока молока, его суммирование за все время доения на индикаторе с отображением скорости молокоотдачи и удоя, отключение доильных стаканов от вакуума в конце доения.

Электронный блок управления процессом доения обеспечивает режим стимуляции молокоотдачи в начале и конце доения повышенной частотой пульсации (120 пульсов в мин и соотношением тактов 50:50), режим основного доения и режим додаивания с отключением стаканов и последующим их автосъемом.

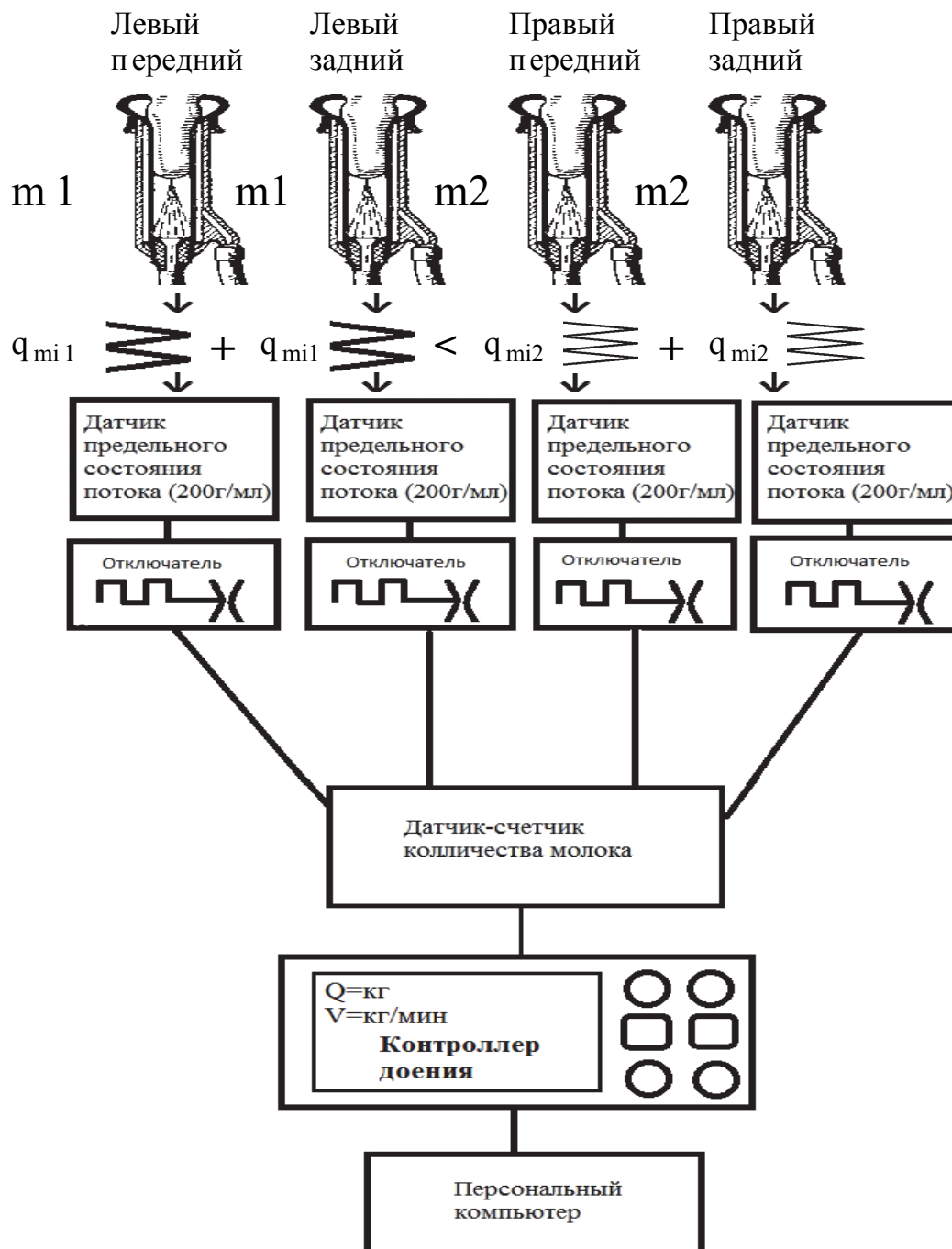


Рис. 1. Схема предлагаемого доильного аппарата

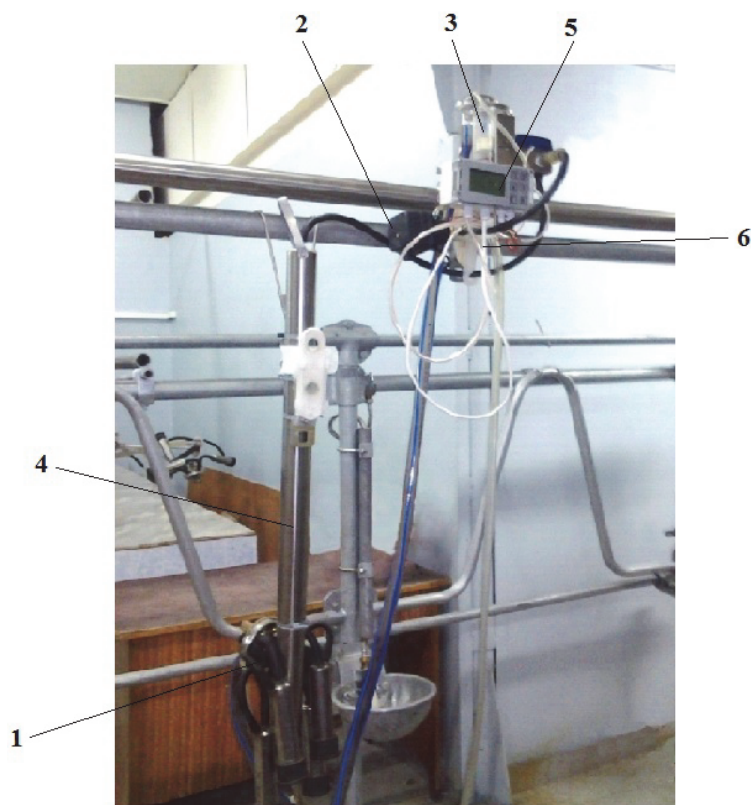


Рис.2. Доильный аппарат

Выводы. Впервые предложена возможность создания унифицированного доильного аппарата с повышенными адаптивными свойствами, совместимого с системами АСУ ТП, для использования как в станочных, так и на линейных доильных установках с молокопроводом. Данное обстоятельство позволяет поднять технический уровень последних, как наиболее распространенных и обеспечить их конкурентоспособность по сравнению с известными аналогами фирм Де Лаваль (система Дельпро) и ГЕА ФАРМ (система Дематрон).

Список литературы

1. Гарькавый Ф.Л. Селекция коров и машинное доение / Ф.Л. Гарькавый. – М.: Колос, 1974. – С. 21.
2. Гриневич И.И. Доильный аппарат с укороченным тактом сосания передних долей вымени / И.И. Гриневич, Г.Г. Палкин // Проблемы интенсификации производства молока: тезисы науч.-произв. конф. – Минск, 1991. – С. 132–133.
3. Использование сети интернет для повышения эффективности научных исследований / Д.А. Будников, В.Р. Краусп, А.А. Васильев, В.А. Буднев // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 8-й междунар. науч.-техн. конф., 16-17 мая 2012 г., г. Москва. – Ч.5 «Инфокоммуникационные технологии и нанотехнологии» . – М.: Агрорус. – С.3–9.
4. Кирсанов В.В. Метод создания многофункциональной элементной базы доильного оборудования / В.В. Кирсанов. – Техника и оборудование для села. – 2012. – №9. – С.16–18.

5. Кирсанов В.В. Направления совершенствования исполнительных механизмов доильных установок / В.В. Кирсанов, С.И. Щукин, В.Н. Легеза // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – №1. – С.64–65.

6. Система технологий и машин для механизации и автоматизации производства продукции животноводства и птицеводства на период до 2020 года. – М.: ГНУ ВНИИМЖ, 2013. – 224 с.

7. Цой Ю.А. Функционально-стоимостной анализ роботизированных систем и выбор альтернативных вариантов добровольного доения коров / Ю.А. Цой, В.В. Кирсанов, А.П. Петренко // Техника и оборудование для села. – 2014. – №8 (206). – С.33–36.

Наведено методи і напрями досліджень процесів і фізичних закономірностей функціонування складних біотехнічних систем «людина машина-тварина» в умовах високої варіабільності морфологічних і лактогенетичних ознак біологічних об'єктів при машинному доїнні корів. Розглянуто умови фізіологічно безпечного процесу доїння по окремих чвертях вимені. Запропоновано структурну схему адаптивного доїльного апарата.

Біотехнічна система, адаптивний доїльний апарат, почетвертне доїння, управління доїнням, схема.

The paper presents the methods and fields of research processes and physical laws of functioning of complex biotechnological systems "man-machine-animal" in a high variability of morphological and biological traits lactogenetical with machine milking cows, considered physiologically safe conditions for individual milking udder quarters, proposed structural adaptive scheme milking machine.

Bioengineering system, adaptive milking machine, milking to fourth, milking control, scheme.

УДК 681.5:004:635.64:004

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНИМ РЕЖИМОМ У ТЕПЛИЦІ

Т. О. ПРОКОПЕНКО, асистент

Кіровоградський національний технічний університет України

Оцінено головні задачі щодо створення систем керування температурно-вологісним режимом у теплиці; вибрано нейромережевий математичний апарат для їх вирішення. Розроблено послідовність синтезу системи керування та практично її реалізовано. Із використанням генетичного алгоритму проаналізовано на значимість вхідні параметри. Проведено активний експеримент на виробничому об'єкті та отримано навчальні набори даних. Синтезовано та перевірено на адекватність

© Т. О. ПРОКОПЕНКО, 2015

5. Кирсанов В.В. Направления совершенствования исполнительных механизмов доильных установок / В.В. Кирсанов, С.И. Щукин, В.Н. Легеза // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – №1. – С.64–65.

6. Система технологий и машин для механизации и автоматизации производства продукции животноводства и птицеводства на период до 2020 года. – М.: ГНУ ВНИИМЖ, 2013. – 224 с.

7. Цой Ю.А. Функционально-стоимостной анализ роботизированных систем и выбор альтернативных вариантов добровольного доения коров / Ю.А. Цой, В.В. Кирсанов, А.П. Петренко // Техника и оборудование для села. – 2014. – №8 (206). – С.33–36.

Наведено методи і напрями досліджень процесів і фізичних закономірностей функціонування складних біотехнічних систем «людина машина-тварина» в умовах високої варіабільності морфологічних і лактогенетичних ознак біологічних об'єктів при машинному доїнні корів. Розглянуто умови фізіологічно безпечного процесу доїння по окремих чвертях вимені. Запропоновано структурну схему адаптивного доїльного апарата.

Біотехнічна система, адаптивний доїльний апарат, почетвертне доїння, управління доїнням, схема.

The paper presents the methods and fields of research processes and physical laws of functioning of complex biotechnological systems "man-machine-animal" in a high variability of morphological and biological traits lactogenetical with machine milking cows, considered physiologically safe conditions for individual milking udder quarters, proposed structural adaptive scheme milking machine.

Bioengineering system, adaptive milking machine, milking to fourth, milking control, scheme.

УДК 681.5:004:635.64:004

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНИМ РЕЖИМОМ У ТЕПЛИЦІ

Т. О. ПРОКОПЕНКО, асистент

Кіровоградський національний технічний університет України

Оцінено головні задачі щодо створення систем керування температурно-вологісним режимом у теплиці; вибрано нейромережевий математичний апарат для їх вирішення. Розроблено послідовність синтезу системи керування та практично її реалізовано. Із використанням генетичного алгоритму проаналізовано на значимість вхідні параметри. Проведено активний експеримент на виробничому об'єкті та отримано навчальні набори даних. Синтезовано та перевірено на адекватність

© Т. О. ПРОКОПЕНКО, 2015

математичну модель мікрокліматичних процесів у теплиці. Розраховано енергоефективну навчальну вибірку, на основі якої створено нейромережеву систему керування температурно-вологісним режимом у теплиці; шляхом імітаційного моделювання перевірено її якісні функціональні показники.

Мікроклімат, теплиця, інтелектуальна система керування, генетичний алгоритм, нейронна мережа.

Сучасна теплиця як об'єкт керування температурно-вологісним режимом характеризується незадовільною динамікою і нестаціонарністю параметрів [1]. При цьому агротехнічні норми обумовлюють строгі вимоги та високу точність стабілізації температури (1 °С), своєчасну її зміну залежно від рівня фотосинтетично-активного опромінення, фаз розвитку рослини і часу доби тощо. Технологічно обґрунтовано [2], що для ефективної роботи системи керування температурно-вологісним режимом необхідно, щоб теплова потужність опалювальної системи в сталому режимі забезпечувала перепад між зовнішньою і внутрішньою температурою – із врахуванням впливу збурень, нелінійностей та нестаціонарностей. Багатопараметричність ж задачі [3], яку вирішує така система у теплиці ангарного типу полягає у підтримці в режимі реального часу балансу між заданими та поточними значеннями температури повітря ($t = \Theta$), температури ґрунту (t_0) і відносної вологості повітря ($R_v = \varphi$).

Фактично система керування повинна працювати не за традиційним кількісним принципом, коли вироблення керуючого впливу ув'язується з кількістю продукту (овочів) на виході та кількісними показниками вхідних величин, а за кількісно-якісним, оскільки у випадку керування мікрокліматом у теплиці відбувається стохастичне коливання параметрів із можливістю зміни структури взаємозв'язків між вхідними технологічними величинами, тобто система повинна керувати об'єктом типу “чорний ящик”.

Мета досліджень – обґрунтування та розробка системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці.

Матеріали та методика досліджень. Як об'єкт дослідження була вибрана теплиця ангарного типу, яка розташована в с. Северинка Кіровоградського району Кіровоградської області. Для проведення експериментальних досліджень, достовірного вимірювання мікрокліматичних умов у теплиці і навколишньому середовищі створено систему автоматизованого контролю температурно-вологісного режиму в теплиці, яка являє собою програмно-технічний вимірювальний комплекс (рис. 1), що підключається до персонального комп'ютера.

До вхідних величин системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці належать [4]: зовнішня температура повітря; зовнішня вологість повітря; індекс тепла; атмосферний тиск; сонячна радіація; внутрішня температура; внутрішня вологість; температура повітря біля рослини. Параметри, які виконують функції керуючих впливів: потужність

обігрівача повітря, потужність обігрівача ґрунту. Глибина вибірки становила 1440 експериментальних спостережень.

Для вирішення задачі відбору вхідних даних, тобто зменшення їх кількості, що досить актуально при вирішенні задачі оптимізації в електротехнічних системах, використали генетичний алгоритм.



Рис.1. Загальний вигляд дослідної установки (пат. України № 8716)

Створення ж самої системи керування виконувалося на основі використання математичного апарату штучних нейронних мереж (ШНМ) [5].

Результати досліджень. Завантаживши дані експериментальних досліджень температурно-вологісного режиму теплиці у програмний продукт “Statistica”, провели оцінку значимості впливу вхідних параметрів на вихідні (рис. 2).

Исчерпывающее оценивание (Таблица данных1)									
	Ошибка	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
Конечный	0,016590	Да	Да	Да	-	Да	-	-	Да

Рис. 2. Багатопараметрична оптимізація експериментальних даних дослідження температурно-вологісного режиму у теплиці в середовищі “Statistica”

За результатами використання генетичного алгоритму було “відсіяно” такі вхідні параметри: атмосферний тиск, сонячна радіація, внутрішня температура повітря.

Як вхідні величини використовуватимемо: зовнішню температуру повітря, зовнішню вологість повітря, індекс тепла, внутрішню вологість повітря, температуру повітря біля рослин.

Для синтезу та дослідження відповідних ШНМ використаємо програмний пакет “Statistica Neural Networks”. Критерій – мінімізація помилки штучної нейронної мережі. Для ефективного моделювання в пакеті Statistica Neural Networks вхідні дані автоматично розбиваються на три блоки: навчальний, контрольний, тестовий. Наявність трьох блоків не є обов’язковою, однак тестовий блок покращує якість подальшої роботи, оскільки дає можливість впевнитися, що не відбулося «перенавчання» (overfitting) мережі.

У результаті попередніх експертних досліджень, з точки зору адекватності та ефективності подальшого використання у дослідженнях,

було вирішено використовувати архітектуру ШНМ типу радіально-базисна функція (RBF).

У ній вихідний сигнал шаблонного нейрона – це функція тільки від відстані між вхідним вектором X і збереженим центром C :

$$f(X) = \varphi\left(\frac{\|X - C\|}{\sigma}\right). \quad (1)$$

де C_i – центри, σ_i – відхилення радіальних елементів.

Вихідний шар мережі є лінійним, так що виходи мережі визначаються виразом:

$$y_j = \sum_{i=1}^K w_{ij} \varphi\left(\frac{\|X - C_i\|}{\sigma_i}\right), j = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

де w – вагові коефіцієнти нейронної мережі.

Як входи використовували ті, що визначили у результаті багатопараметричної оптимізації, виходи – потужність обігрівача повітря та потужність обігрівача ґрунту.

За результатами ітераційного навчання отримали прийнятну адекватність мережі з відповідною архітектурою (рис. 3, 4).

Аналіз отриманих у результатів синтезу ШНМ графічних матеріалів її навчання продемонстрували гнучкість моделі щодо “пікових” амплітудних значень обох вихідних потужностей (рис. 5), що важливо для подальших досліджень теплиці, яка характеризується нестационарністю значень параметрів мікроклімату.

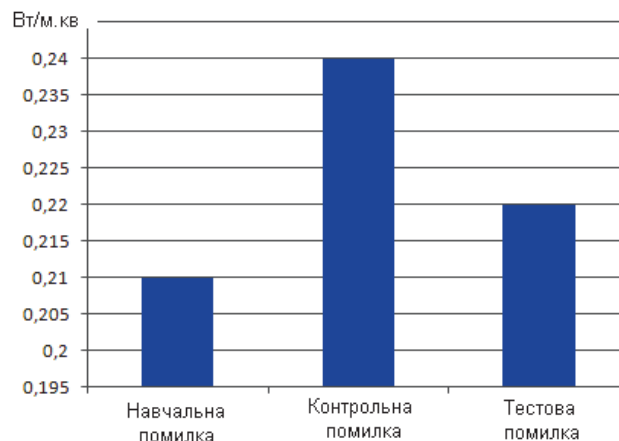


Рис. 3. Перевірка на адекватність ШНМ моделі температурно-вологісного режиму

Потім, використавши створену адекватну ШНМ (див. рис. 4), формуємо вибірку даних для синтезу інтелектуальної системи керування (рис. 6).

Формування такої вибірки здійснюється так. Зовнішня температура повітря, зовнішня вологість повітря та індекс тепла встановлюються із всього діапазону можливих значень цих параметрів з метою максимального заповнення всієї технологічної області.

Із використанням ШНМ оцінки температурно-вологісного режиму у теплиці (див. рис. 4) змінюємо значення потужностей обігрівачів повітря та ґрунту доти, поки температура повітря біля рослин та вологість повітря не встановляться рівними нормативним вимог.

Такий набір даних зберігається та буде використано для створення неймережевої системи керування.

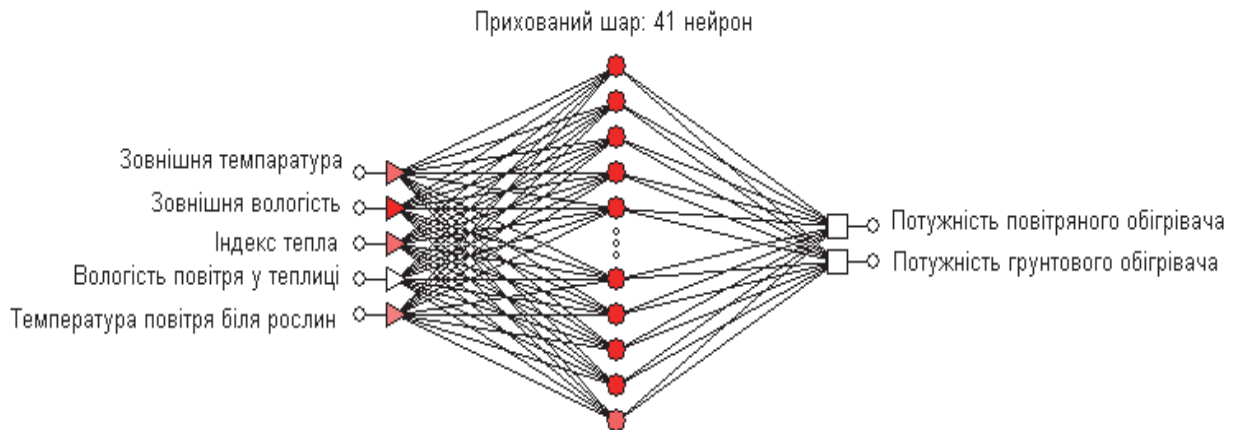


Рис. 4. Архітектура ШНМ моделі температурно-вологісного режиму у теплиці

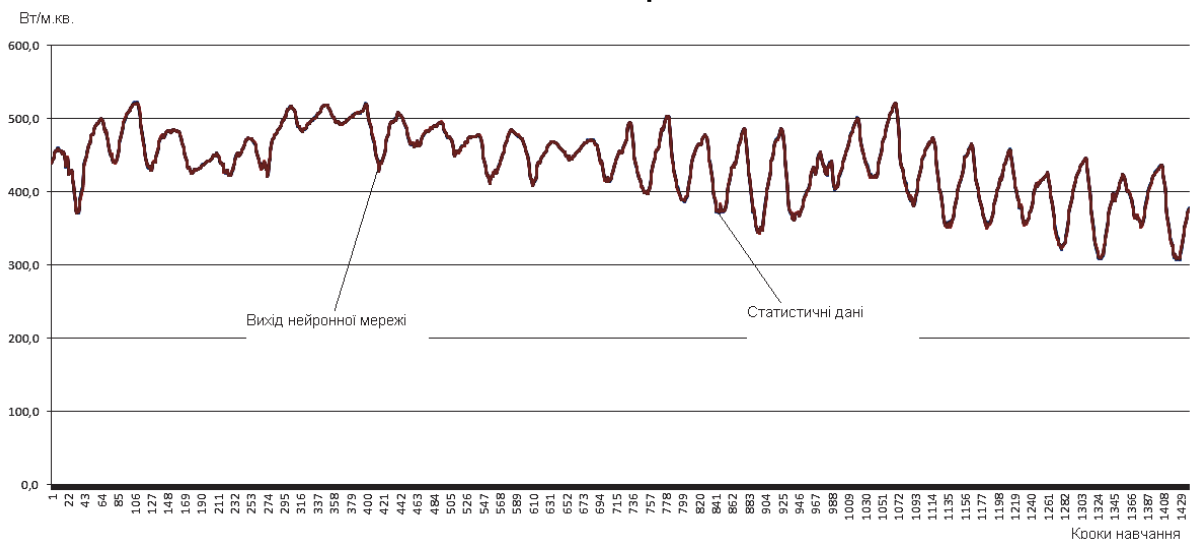


Рис. 5. Оцінка якості моделювання сумарного значення потужностей (потужність обігрівача повітря + потужність обігрівача ґрунту)

Критерій енергоефективності, за яким вибирають дані для навчальних вибірок:

$$\begin{cases} СПО \rightarrow \min \\ АВ \rightarrow const \end{cases} \quad (3)$$

де СПО – сумарна потужність обігрівачів; АВ – агротехнічні вимоги.

Використовуючи такий підхід було сформовано навчальну вибірку у 1400 наборів даних. При чому значення температура повітря біля рослини та вологість повітря зберігаються не в абсолютних значеннях, а у різницевах:

$$\text{Різниця} = \text{Нормативне значення} - \text{Початкове} \quad (4)$$

Використавши таку навчальну вибірку та програмний продукт “Statistica” на основі радіально-базисної архітектури ШНМ, побудували відповідну мережу із достатньою адекватністю (рис. 6).

У пакеті прикладного математичного програмного забезпечення “MatLAB Simulink”, який містить блок нейромережевого моделювання здійснили імітаційні дослідження функціонування інтелектуальної системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці (рис. 6), де функцію математичної моделі теплиці виконувала ШНМ (див. рис. 4).

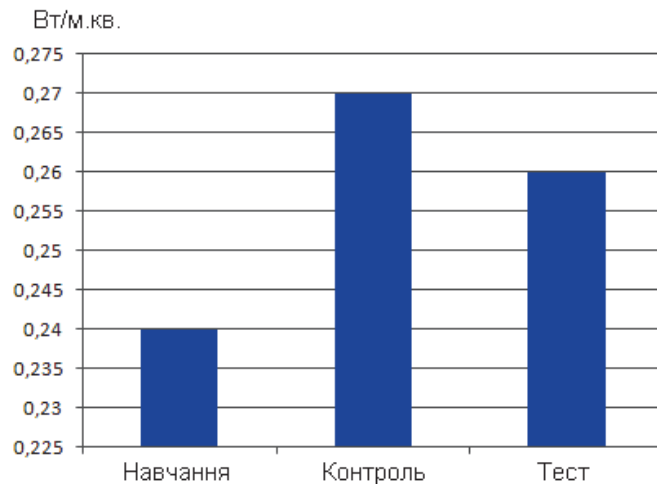


Рис. 6. Перевірка на адекватність ШНМ систем керування

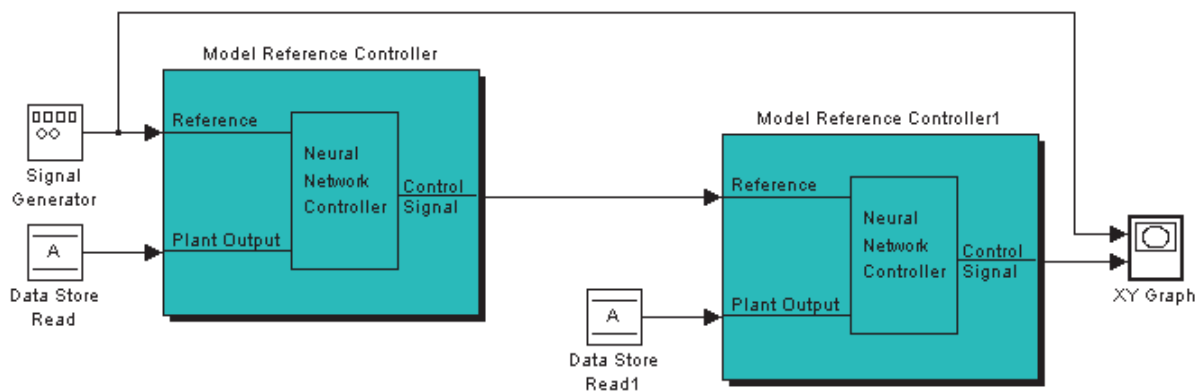


Рис. 7. Імітаційна модель функціонування інтелектуальної системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці (середовище “MatLAB Simulink”)

За результатами імітаційного моделювання функціонування інтелектуальної системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці встановлено, що її якісні характеристики, для обох виходів згідно з вимогами теорії автоматичного керування такі (рис. 8).

Перерегулювання: за верхнім фронтом – 0 %, за нижнім – 2,5–3,75 %.

Максимальне динамічне відхилення: за верхнім фронтом – 0, за нижнім – 0,02–0,03.

Кількість напівколивань: за верхнім фронтом – 0, за нижнім – 1.

Такі характеристики системи керування, особливо із врахуванням можливості її “донавчання” у штатному режимі роботи на основі зберігання та опрацювання виробничих даних реального тепличного підприємства в інформаційній базі знань, задовольняють відповідні технологічні вимоги.

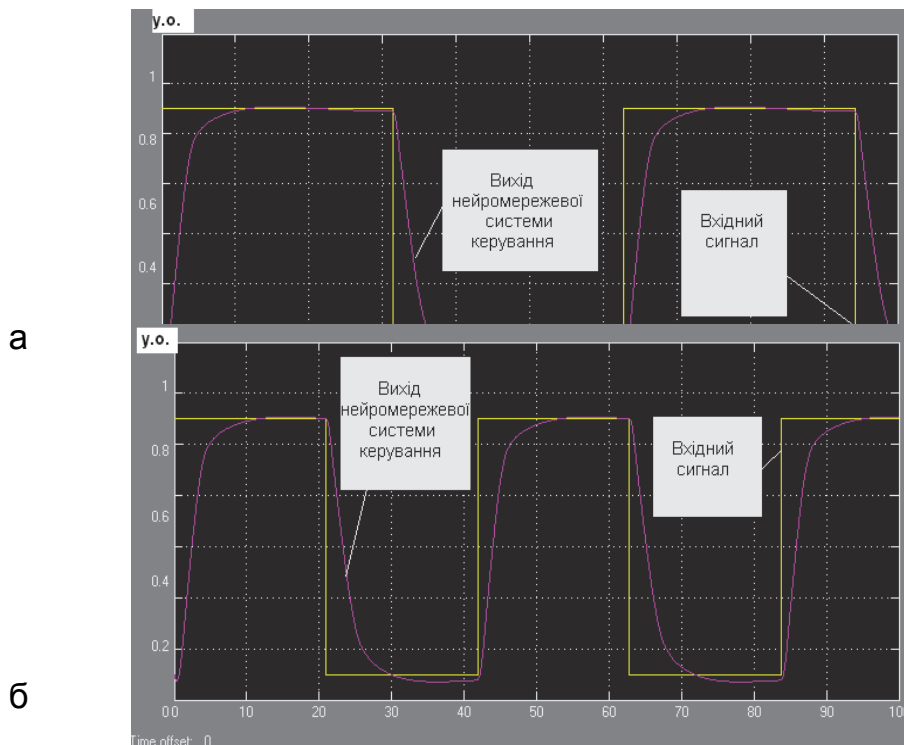


Рис. 8. Результати імітаційного моделювання функціонування інтелектуальної нейромережевої системи керування температурно-вологісним режимом у теплиці за каналами керування: а – обігрівач повітря, б – обігрівач ґрунту

Висновки. Система керування температурно-вологісним режимом у теплиці на основі використання математичного апарату штучних нейронних мереж та попереднього аналізу вхідних даних генетичним алгоритмом показала достатню якість роботи та доцільність її виробничих досліджень.

Список літератури

1. Віхрова Л. Г. Математичне моделювання теплових режимів в теплицях з комбінованим повітряно – ґрунтовим обігрівом / Л.Г. Віхрова, Т.О. Прокопенко // Зб. наук. праць нац. техн. ун-ту. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – Вип. 18. – С. 233 – 237.
2. Віхрова Л.Г. Аналіз якості стабілізації параметрів мікроклімату в теплиці аркового типу / Л.Г. Віхрова, С.І. Осадчий, Т.О. Слісаренко // Автоматизація виробничих процесів. – К.: НВК „КІА”, 2005. – Вип. 14. – С. 12 – 15.
3. Клімова І.В. Зменшення енерговитрат при реконструкції існуючих і будівництві нових теплиць / І.В. Клімова, Ю.К. Росковшенко // Вісник Херсонського держ. техн. ун-ту. – Херсон: ХДТУ, 2001. – №4 (13). – С. 393 – 396.
4. Прогноз та оцінка доцільності застосування різних видів джерел енергії на тепличних комплексах / В.П. Лисенко, В.М. Решетюк, В.М. Штепа [та ін.] // Науковий вісник НУБіП України. – К.: ВЦ НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч.3. – С. 178 – 185.

5.Штепа В.М. Оцінка енергетичних характеристик процесів очищення стічних вод агропромислових підприємств електротехнічними комплексами / В.М. Штепа // Науковий вісник НУБіП України. – К.: ВЦ НУБіП України, 2014. – Вип. 194, ч.3. – С. 259 – 265.

Оценены главные задачи по созданию систем управления температурно-влажностным режимом в теплице; выбрано нейросетевой математический аппарат для их решения. Разработана последовательность синтеза системы управления, которая практически реализована. С использованием генетического алгоритма проанализированы на значимость входные параметры. Проведён активный эксперимент на производственном объекте и получены учебные наборы данных. Синтезирована и проверена на адекватность математическая модель микроклиматических процессов в теплице. Рассчитана энергоэффективная обучающая выборка, на основе которой создана нейросетевая система управления температурно-влажностным режимом в теплице; путем имитационного моделирования проверены ее качественные функциональные показатели.

Микроклимат, теплица, интеллектуальная система управления, генетический алгоритм, нейронная сеть.

Reviewed by the major problem for the establishment of control temperature and humidity conditions in the greenhouse; selected neural mathematical tools to solve them. Developed synthesis sequence control system and it practically implemented. Using genetic algorithm analyzes the significance of the input parameters. An experiment on active production facility and received training data sets. Synthesized and tested for adequacy of the mathematical model greenhouse. Calculated energy efficient learning sample based on neural network control system established temperature and humidity conditions in the greenhouse; by simulation modeling checked its quality functional performance.

Microclimate, greenhouse, intelligent control, genetic algorithm, neural network.

САМЫЕ НЕОСОЗНАННЫЕ ОПАСНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ КРУПНЫХ ЯДЕРНЫХ КАТАСТРОФ

И. И. СВЕНТИЦКИЙ, доктор технических наук

В.А. КОРОЛЕВ, кандидат технических наук

ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва

Н. Э. КАСУМОВ, кандидат экономических наук

ФГБОУ ВПО «Российский государственный аграрный заочный университет», г. Москва

А. Г. СВЕНТИЦКИЙ, студент

**Московский государственный индустриальный университет,
г. Москва**

Показано, что радиоактивное загрязнение в Чернобыльской зоне приводит к подавлению микроорганизмов редуцентов, накоплению неразложившейся органики, замедлению круговорота биофильных элементов, повышению пожароопасности. В этом видна роль второго начала термодинамики в прогрессивной эволюции как утилизатора структур, вышедших из самоорганизованного (живого) состояния и, одновременно, катастрофического нарушения круговорота биофильных элементов, необходимого для функционирования биосферы и всех видов организмов.

Самоорганизация, радиоактивная загрязненность, второе начало термодинамики.

В недавней публикации группы исследователей США, Франции и Украины приведены результаты опытов по негативному влиянию различных уровней радиоактивной загрязненности Чернобыльской зоны на разложение лесного опада жизнедеятельностью редуцентов – микроорганизмов и почвенных беспозвоночных [13]. Опад использовали чистый от радиоактивных загрязнений. Он состоял из листьев и хвои следующих древесных: дуба черешчатого, клена остролистого, березы бородавчатой и сосны обыкновенной. Пробы опада в количестве 752 образца, помещенные в сетки, располагали в лесную подстилку на 20 участках с разным уровнем радиоактивности (различия радиоактивности на разных участках достигало в 2,6 тыс. раз). Пробы закладывали в сентябре 2007 г., извлекали - в июне 2008 г. Часть образцов помещали в сетки с мелкими ячейками, препятствующими проникновению в образцы мелких почвенных беспозвоночных. После извлечения образцов остатки высушивали и взвешивали.

Результаты эксперимента показали, что в результате жизнедеятельности в основном микроорганизмов разложение листьев и хвои происходило в наиболее радиационно загрязненных участках на 40 % медленнее, чем на чистых от радиационного загрязнения. По мнению авторов, это замедляющее воздействие радиационной загрязненности на разложение мертвого органического вещества почвенными микроорганизмами приводит к накоплению в лесах сухих горючих материалов и к увеличению риска “возникновения лесных катастрофических пожаров и вторичному радиоактивному загрязнению окружающей территории”.

Цель исследований – анализ последствий крупных ядерных катастроф.

Результаты исследований. Отметим, что не менее катастрофическим следствием подавления жизнедеятельности почвенных микроорганизмов – редуцентов – радиоактивным загрязнением является замедление круговорота биофильных элементов в биосфере, нарушающее ее нормальное функционирование. Планета Земля не имеет регулярного обмена веществом со своим окружением. Прогрессивная эволюция на Земле и устойчивое функционирование биосферы Земли, в связи с этим, возможно только при наличии круговорота биофильных элементов [6]. Экспериментально такой круговорот установлен для азота [3] и углерода [2]. Только доли процента этих веществ, находящихся на поверхности Земли, практически по замкнутому циклу обращаются в живой части биосферы, что свидетельствует о высокой энергетической и вещественной экономности функционирования биосферы, а также процесса прогрессивной эволюции.

Круговорот биофильных химических элементов возможен благодаря разрушению структур организмов вышедших из самоорганизованного (живого) состояния. Умершие организмы или их части (листья, хвоя и т.п.) становятся равновесными (косными, хаотическими). Их структуры разрушаются, высвобождая содержащиеся в них биофильные элементы для повторного их использования во вновь возникающих организмах или их составляющих. Из естественных общепризнанных законов разрушительной функцией – энтропией – обладает второе начало термодинамики. Общеизвестно, что энтропия - основная функция второго начала “повсеместно и непрерывно возрастает”, разрушая структуры. Добавим важную особенность, исключаящую проблему “опасения тепловой смерти Земли и Вселенной”: энтропия разрушает только структуры вышедшие из самоорганизованного (живого) состояния. Структуры, находящиеся в самоорганизованном состоянии, продолжают нормально функционировать и вновь возникать в соответствии с законом выживания, сущность которого противоположна сущности второго начала [6].

Сущность этого закона в следующем: каждый элемент самоорганизующейся природы в своем развитии (индивидуальном, эволюционном) самопроизвольно устремлен к состоянию наиболее полного (эффективного) использования доступной свободной энергии системой трофического уровня, в которую он входит. Закон выживания и второе

начало логически неразрывно объединены, в виде зеркальной динамической симметрии, в общий принцип естествознания – принцип энергетической экстремальности самоорганизации и прогрессивной эволюции. Процесс прогрессивной эволюции природы происходит благодаря периодическому прохождению веществ через два принципиально различных состояния: самоорганизованное (неравновесное), в соответствии с законом выживания, и равновесное (несамоорганизованное, косное) в соответствии со вторым началом термодинамики. Закон выживания направляет прогрессивную эволюцию. Второе начало утилизирует структуры систем вышедших из самоорганизованного состояния, высвобождая вещества для повторного их использования в самоорганизованных системах. В этом действительная роль второго начала термодинамики в осуществлении прогрессивной эволюции самоорганизующейся природы.

К сожалению, второму началу термодинамики ошибочно приписывают роль закона направляющего глобальную (прогрессивную) эволюцию природы. Общеизвестно, что первые подобные попытки в 50-х г. XIX столетия выдающихся физиков, классиков науки: английского Уильяма Томсона (Кельвина) и немецкого Рудольфа Юлиуса Эммануила Клаузиуса привели к возникновению проблемы “тепловой смерти Земли и Вселенной”. Существующие формулировки второго начала термодинамики имеют запретительный характер, а его основная функция – энтропия – явно разрушительный. Даже только по этой причине второе начало не может исполнять роль закона направляющего прогрессивную эволюцию. В современной работе немецких авторов по физическим процессам эволюции в виде оправдания приписывания ведущей роли второго начала в эволюции придуман своеобразный, реально не существующий механизм – “фотонная мельница” [11], а в работе отечественного автора эту роль выполняет “принцип минимакса” [9].

На основе закона выживания и общего принципа естествознания – энергетической экстремальности самоорганизации и прогрессивной эволюции -удалось решить столетние проблемы науки, обусловленные классической термодинамикой [6]. На этой же основе решена главная проблема биофизики – объединены логически современные теории физики с биологией, выявлена самопроизвольная устремленность прогрессивной эволюции природы к экономии основных сущностей: энергии, вещества, информации [7]. На основе закона выживания удалось естественно научно объяснить ряд феноменальных явлений, которые экспериментально или математически надежно установлены, но научно не были объяснены. К таким феноменам относятся: фрактальные структуры, солитоны, золотая пропорция, онтогенез или биогенетический закон, а также феноменальные экстремальные физико-химические принципы – Ферма, наименьшего действия, Ле Шателье и закон (правило) электромагнитной инерции Ленца. Все они оказались механизмами проявления закона выживания. Как правило, они реализуются в самоорганизующихся системах и обуславливают энергетическую, вещественную, а также информационную экономность

этих систем. Само по себе это объяснение подтверждает объективность существования закона выживания, его положительную роль в познании.

Ошибочность приписывания второму началу термодинамики роли закона, направляющего эволюцию природы, видна, прежде всего, из исходной основы обоснования этого начала. Основоположник классической термодинамики, автор единственной опубликованной работы “Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу” Никола Леонард Сади Карно, владея идеями кинетической теории теплоты своего времени и осуществив обоснование основной сущности второго начала, не мог очевидно представить, что это прогрессивное достижение через четверть века может вызвать опасение тепловой смерти Земли и Вселенной. Это опасение связано с введением понятия энтропии как основной функции второго начала термодинамики. Главная сущность этого начала, обоснованная С. Карно – необходимость и возможность количественного учета (оценки) качества различных видов энергии при их взаимном превращении. Энтропия первоначально вводилась с этой целью. Энтропийный анализ в энергетике использовали до 80-х гг. XX столетия, но затем большинство энергетиков мира перешли к эксэргетическому анализу, как к более простому и надежному. Этот метод был известен под иным названием во время обоснования энтропийного.

Рассматривая устойчивость динамических систем, проблему необратимости и рост энтропии выдающийся физик в области самоорганизации проф. Д.С. Чернавский [10] справедливо отмечает: “Таким образом, основные результаты термодинамики можно получить без второго начала термодинамики как дополнительного постулата. Понятие “энтропия” можно ввести, но можно не вводить и вообще не упоминать о нем”. Основной целью работы С. Карно было выявление инженерного метода оценки потенциальной превратимости тепловой машиной тепловой энергии в работу. Осуществление этой цели достижимо без введения понятия энтропия. Как показано Д.С. Чернавским, в понятии энтропии нет необходимости и с точки зрения термодинамики, как раздела физики.

В [1] изложена концепция обоснования процессов природы по преобразованию материи (вещества и энергии) из атомно-молекулярной формы ее существования в ядерно-физическую, нейтронно-гиперонную под действием гравитационно-космических полей. Исходя из свойств прогрессивной эволюции можно утверждать о существовании и противоположных процессов, которые являются первичными в подобном общем циклическом явлении.

Автор этой концепции И.М. Белозеров д-р физ.-мат. наук, Заслуженный изобретатель России, “...инженер-физик, в течение почти полвека проработавший на предприятиях ядерно-топливного цикла Минсредмаша СССР (Росатома) ..” [1], безусловно знает второе начало, но, очевидно, из-за невозможности объяснить на его основе энергетические ядерные процессы, ни разу его не упомянул в рассматриваемой работе. Ни разу не упомянули его и 5 докторов наук: технических, химических, физико-математических – авторов трех рецензий этой работы, приведенных в том же номере журнала.

Они также знакомы со вторым началом и не могли не заметить этой негативной особенности рассматриваемой работы. Невозможно удержаться от выражения искреннего сочувствия им за эту вынужденную феноменальность цитированной работы.

Согласиться с тем, что второе начало не существует невозможно. Без него не могла бы произойти прогрессивная эволюция на Земле, как термодинамической системы, закрытой по регулярному обмену веществом с окружением.. Отсутствие учета этого в монографии Белозерова – принципиальная негативная ее особенность.

Наряду с другими видами эндогенной активности Земли [1], нельзя не отметить уникальность ее эволюционной активности, возникновения на ней живых существ, биосферы и человека. В соответствии с антропным принципом эта уникальная эволюционная эндогенная активность Земли может быть временной, но до настоящего времени как в пределах солнечной систем, так и в других частях Вселенной планет с живыми существами не обнаружено. Принимая во внимание надежную естественнонаучную доказанность антропного принципа [14], он позволяет утверждать однозначно о том, что зарождение жизни и возникновение человека произошло на Земле.

В обосновании антропного принципа использованы физические постоянные, которые устанавливались в условиях Земли, разными учеными и считалось, что они не имеют между собой связи. В действительности физические константы имеют общую детерминированную связь. При использовании их для расчетных определений физических условий Земли, пригодных для жизни, их значения должны устанавливаться с точностью не ниже 9-го – 12-го знака после запятой. При меньшей точности их определения реальные значения физических условий на Земле, в которых зародилась жизнь, и появился человек, расчетным путем получить невозможно. Антропный принцип является следствием прогрессивной эволюции. Это удалось выявить на основе анализа сущности второго начала, закона выживания и принципа энергетической экстремальности самоорганизации. Этим самым общих законов и принципа естествознания, неразрывно взаимосвязанных, позволяющих объяснить механизм, процессы и свойства прогрессивной эволюции в условиях Земли. Не учитывать второе начало термодинамики и закон выживания невозможно при полноценном рассмотрении любого из многочисленных процессов преобразований энергии, охваченных в [1].

Обеспокоенность негативным влиянием радиационных загрязнений на жизнедеятельность редуцентов высказывается и в публикации [4]. “Мертвый лес вокруг Чернобыля не разлагается”. Радиационное загрязнение оказывает значительное влияние “на микроорганизмы и грибы, ограничивая процесс естественного разложения”. Этот процесс разрушает круговорот биофильных элементов биосферы, основательно разрушая ее нормальное функционирование. Это наиболее опасное последствие крупномасштабных радиационных загрязнений. Прямое влияние ядерных излучений на микроорганизмы ранее изучалось в связи с безопасностью

хранения радиоактивных отходов [5]. Установлено, что в пластовой жидкости хранилищ низкоактивных жидких радиационных отходов на полигонах обнаружено разнообразное сообщество микроорганизмов, способных осуществлять аэробное окисление органических веществ, а также процессы брожения, денитрификации, сульфатредукции и метаногенеза. Наиболее многочисленной обнаружена группа денитрифицирующих микроорганизмов, которые окисляют органические вещества в присутствии воздуха и способны переключаться на анаэробный механизм при его отсутствии. В то же время отмечается, что ионизирующее излучение радиоактивных изотопов подавляет жизнедеятельность биоты.

Возможным механизмом угнетения жизнедеятельности микроорганизмов является озон, возникающий от излучений радиоактивных веществ, находящихся в поверхностном слое почвы или в подстилке. Озон, как известно, широко применяют для уничтожения патогенных микроорганизмов. Очень низкие дозы озона стимулируют жизнедеятельность микроорганизмов. Измерение концентрации озона в приземном слое воздуха или у поверхности опада позволит выявить правдоподобность этого механизма влияния радиоактивных загрязнений на жизнедеятельность микроорганизмов.

Представляет интерес рассмотрение сферы приложения второго начала термодинамики и его связи с царствами живой природы и явлением угнетения жизнедеятельности редуцентов радиационной загрязненностью. Выдающийся французский математик, физик и философ А. Пуанкаре в 1900 г., рассматривая гипотезы и теории физики, выделяет следующие ее наиболее важные принципы [5]: “Принцип сохранения энергии (или принцип Майера), есть, без сомнения, самый важный,...; принцип Карно, или принцип рассеяния энергии...; принцип Ньютона или принцип равенства действия и противодействия; принцип относительности, согласно которому законы физических явлений должны оставаться теми же как для неподвижного наблюдателя, так и для наблюдателя, увлекаемого равномерным поступательным движением,...; принцип сохранения массы, или принцип Лавуазье. Я добавил бы еще принцип наименьшего действия”. Рассмотрев низкую надежность обоснования этих общепризнанных принципов и, перейдя к рассмотрению будущего математической науки, он задается вопросом [5] – “Что же остается среди всех этих руин?” и отвечает: “Принцип наименьшего действия стоит нерушимо до сих пор, и Лармор ...считает, что этот принцип надолго переживет все остальные; он действительно и самый неопределенный и самый общий”.

Предсказание это сбылось. Принцип наименьшего действия в форме гамильтониана вошел в основные уравнения разделов квантовой релятивистской и нерелятивистской физики, разработанных в начале XX столетия. Основой этого предсказания, очевидно, была теорема Пуанкаре возврата (о возвращении) – одна из базовых теорем эргодической теории. На ее основе Марианн Смолуховский осуществил молекулярно-теоретические исследования по доказательству “обращения термодинамически необратимых процессов”. Основоположник новых

разделов физики – М. Планк – до открытия квантовости излучения и постоянной наименьшего действия (постоянной Планка) основные исследования проводил по второму и первому началам термодинамики. На их основе он пытался вывести аналитическую зависимость спектрального распределения излучения абсолютно черного тела от его температуры. Решить эту теоретическую задачу удалось благодаря открытию квантовости излучения. Второе начало в теории квантовой физики и теорию относительности не вошло. Главным законом всей физики М. Планк считал принцип наименьшего действия в форме Гамильтона. Этой же точки зрения придерживались и другие выдающиеся физики-теоретики – А. Эйнштейн, П.А.М. Дирак, Э. Шредингер и др.

Основным источником энергии для биосферы Земли является энергия солнечного электромагнитного излучения оптического диапазона (света). Первичные преобразователи этой энергии – фототрофные растения. На основе второго начала невозможно объяснить процесс фотосинтеза растений. На эту проблему впервые официально обратил внимание К.А. Тимирязев в Крунианской лекции “Космическая роль зеленых растений” в 1903 г. на заседании Лондонского королевского общества [8]. В названии этой лекции содержался вызов фундаментальной науке того времени.

Незамеченный энергетиками и термодинамиками ответ на вызов К.А. Тимирязева представлен в работе А. Эйнштейна, выполненной в 1903–1905 гг. и опубликованной в 2005 г. “Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и преобразования света” [12]. За эту работу её автор был удостоен Нобелевской премии. В ней содержится обоснование квантового преобразования энергии излучения – фотоэффекта. Энергия излучения не только генерируется (испускается), но и преобразуется целыми фотонами (квантами). Прямое преобразование энергии излучения посредством фотосинтеза растений и фотоэлектрических элементов объяснимо законом квантовой эквивалентности, а не вторым началом термодинамики. Эту работу А. Эйнштейна по фотоэффекту длительно не признавал М. Планк (до 1912 г.) стремясь сохранить “стройную электромагнитную теорию света Максвелла” от разрушения ее на основе открытых им квантовых свойств излучения. Он утверждал, что квантовые свойства относятся только к “тепловым излучениям”, они не применимы к излучениям оптической области спектра. Этим очевидно можно объяснить ограниченную осведомленность многих ядерщиков, термодинамиков и энергетиков о законе квантовой эквивалентности фотоэффекта. Крунианская лекция Тимирязева является историческим научным фактом, подтверждающим отечественный приоритет по выявлению и решению проблемы эксергетического анализа прямого преобразования энергии излучения. Так было установлено, что второе начало не приложимо к царству живых растений (*Vegetabilie* или *Plantae*).

После выхода из самоорганизованного (живого) состояния фототрофные растения становятся косными и их структуры, содержащие свободную энергию, могут использовать гетеротрофные организмы для своего питания, разрушая структуры в соответствии со вторым началом и

его функцией энтропией. Эти же структуры можно использовать и для получения тепловой энергии или работы сжиганием этих структур, как это осуществляется в тепловых машинах. Однако свободную химическую энергию органических веществ можно преобразовывать в работу и иным способом, без сжигания, например посредством тепловых элементов или использованием органического вещества на корм тягловых животных. Из этого видно, что второе начало связано со всеми гетеротрофными организмами, которые, разрушая структуры умерших организмов, способствуют круговороту биофильных элементов в биосфере и тем самым содействуют осуществлению этой функции второго начала термодинамики. Это наиболее ярко характерно для организмов редуцентов (разлагателей). Подавление их жизнедеятельности радиационным загрязнением – одно из наиболее катастрофических его последствий, которое ранее не учитывали.

Фотоэффект представляется одним из механизмов проявления закона выживания. Чисто теоретически эксергию фотоэффекта невозможно определить. Это возможно только для случая, когда излучатель и преобразователь имеют спектральные характеристики тождественные характеристикам абсолютно черного тела. У зеленых растений и кремниевых фотоэлементов спектральные характеристики не соответствуют характеристикам абсолютно черного тела, что препятствует чисто теоретическому определению эксергии излучения в отношении этих преобразователей.

Ее определяют полуэмпирическим методом. Теоретически определяют эксергию монохроматического излучения с длиной волны соответствующей максимуму спектральной эффективности данного преобразователя и эмпирически устанавливают относительную спектральную эффективность этого же преобразователя. Для рассмотрения прямого преобразования энергии излучения в области квантовой физики важную роль выполняет закон квантовой эквивалентности фотоэффекта. В соответствии с ним фотоэффект (физический, химический, биологический) пропорционален не количеству поглощенной энергии излучения, а количеству эффективно поглощенных фотонов (квантов).

Выводы. Вызывает удивление столь длительное заблуждение науки в приписывании второму началу термодинамики роли самостоятельного закона природы, направляющего ее эволюцию, несмотря на то, что он выявлен при рассмотрении технического устройства – тепловой машины и доказана эргодическая теорема возврата, а также эмпирически установлен круговорот биофильных элементов в биосфере. Установлена также действительная роль второго начала как утилизатора структур природных систем, вышедших из самоорганизованного состояния (умерших). Эту роль второго начала в прогрессивной эволюции неожиданно подтверждает микробиологическое последствие чернойбыльской катастрофы. Оно катастрофически нарушает функционирование биосферы разрывом круговорота биофильных элементов, который лишает возможности жизнедеятельности всех видов организмов, включая человека.

Список литературы

1. Белозеров И.М. Природа глазами физика. ($P+e \leftrightarrow n^+ \pm \bar{\nu}$) / И.М. Белозеров // Альтернативная энергетика и экология. – 2008. – №12. – С. 8–54.
2. Деви Э. Круговорот минеральных веществ / Э. Деви // Биосфера. – М.: Мир, 1972. – С. 120 - 138.
3. Дельвич К. Круговорот азота / К. Дельвич // Биосфера. – М.: Мир, 1972. – С. 105 – 119.
4. Мертвый лес вокруг Чернобыля не разлагается. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agroxxi.ru/zhurnal-agroxxi/fakty-mnenija-commentarii/m>
5. Пуанкаре А. О науке / А. Пуанкаре. – М.: Наука, 1990. – 736 с.
6. Свентицкий И.И. Энергосбережение в АПК и энергетическая экстремальность самоорганизации / И.И. Свентицкий. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 468 с.
7. Свентицкий И.И. Идеальность прогрессивной эволюции и ее телеологическое отражение в познании / И.И. Свентицкий, Е.О. Алхазова. // Методология науки и антропология. М.: ИФ РАН, 2012. – С. 103–111.
8. Тимирязев К.А. Избранные сочинения в 4 т. / К.А. Тимирязев. Т. 1. – М.: ОГИЗ–СЕЛЬХОЗГИЗ, 1949. – 695 с.
9. Хайтун С.Д. Феномен человека на фоне универсальной эволюции / С.Д. Хайтун. – [29 изд.]. – М.: Книжный дом “ЛИБРОКОМ”, 2009. – 336 с.
10. Чернавский Д. С. Синергетика и информация / Д.С. Чернавский. – М.: Наука, 2001. – 244 с.
11. Эбелинг В. Физика процессов эволюции / Эбелинг В., Энгель А. Файстель Р. – М.: УРСС, 2001. – 328 с.
12. Эйнштейн А. Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и преобразования света / А. Эйнштейн // Собр. науч. тр. Т. 3. – М.: Наука, 1966. – С. 92– 107.
13. Ярошенко А. Радиоактивное загрязнение в зоне “чернобыльского следа” подавляет жизнедеятельность и ведет к чрезмерному накоплению горючих материалов / А. Ярошенко. [Электронный ресурс]: Лесной форум Гринпис России. – Режим доступа: <http://www/forestforum.ru/viewtopic.php?f=9&t=16378&view=unread>
14. Kasumov N. The anthropic principle as consequence of progressive evolution and level of its precision / N. Kasumov, I. Sventitsky, V. Mudrik // Research in Agricultural Electric Engineering. – 2013. – № 3. – P. 108–112.

Показано, що радіоактивне забруднення в Чорнобильській зоні призводить до придушення мікроорганізмів редуцентів, накопичення нерозкладеної органіки, уповільнення кругообігу біофільних елементів, підвищення пожежонебезпеки. У цьому бачиться роль другого початку термодинаміки в прогресивній еволюції як утилізатора структур, що вийшли з самоорганізованого (живого) стану і, одночасно, катастрофічного порушення кругообігу біофільних елементів, необхідного для функціонування біосфери і всіх видів організмів.

Самоорганізація, радіоактивна забрудненість, другий початок термодинаміки.

Radioactive contamination in Chernobyl's zone brings about suppression microorganism decompositions, accumulation remainder lifeless организмы, deceleration of the rotation chemical element in composition organism element, increasing fire to dangers. In this is seen role second begin thermodynamic in progressive evolution as salvaging structures Radioactive contamination in Chernobyl's zone brings about suppression microorganism decompositions , accumulation remainder lifeless организмы, deceleration of the rotation chemical element in composition organism element, increasing fire to dangers. In this is seen role second begin thermodynamic in progressive evolution as converter structures got from self-organizing (alive) of the condition and, simultaneously, disastrous breach of the rotation elements required for operating bio sphere and all type organism.

Self-organizing, radioactive загрязненность, second begin thermodynamic.

УДК 662.995

ВИХРЕВОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТЕПЛОГЕНЕРАТОР

В.В. БИРЮК, доктор технических наук

***Самарский государственный аэрокосмический университет
им. акад. С.П.Королёва, г. Самара***

Р.А. СЕРЕБРЯКОВ, кандидат технических наук

***ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва***

Представлена разработка автономной, малогабаритной, экономичной и мобильной системы отопления для использования в объектах сельского хозяйства и промышленности.

Энергосберегающие технологии, возобновляемая энергетика, вихревой гидравлический теплогенератор, кавитационная труба.

В настоящее время в сельском хозяйстве существует задача широкого внедрения энергосберегающих технологий, которые позволят снизить материальные средства при создании новой продукции и уменьшить энергетические затраты в данном процессе. Перспективным направлением для этого являются альтернативные источники энергии.

Один из альтернативных видов возобновляемой энергетике –вихревая [2, 10], которая представляет собой технологии использования закрученных потоков сплошной среды (например, жидкости и газа) для преобразования их в тепловую энергию, работу, градиент температуры и давления.

Традиционными теплогенераторами, которые широко применяют в технике и быту, являются преобразователи энергии, использующие теплоту сгорания различного рода топлив (жидкого, твердого и

Radioactive contamination in Chernobyl's zone brings about suppression microorganism decompositions, accumulation remainder lifeless организмы, deceleration of the rotation chemical element in composition organism element, increasing fire to dangers. In this is seen role second begin thermodynamic in progressive evolution as salvaging structures Radioactive contamination in Chernobyl's zone brings about suppression microorganism decompositions , accumulation remainder lifeless организмы, deceleration of the rotation chemical element in composition organism element, increasing fire to dangers. In this is seen role second begin thermodynamic in progressive evolution as converter structures got from self-organizing (alive) of the condition and, simultaneously, disastrous breach of the rotation elements required for operating bio sphere and all type organism.

Self-organizing, radioactive загрязненность, second begin thermodynamic.

УДК 662.995

ВИХРЕВОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТЕПЛОГЕНЕРАТОР

В.В. БИРЮК, доктор технических наук

***Самарский государственный аэрокосмический университет
им. акад. С.П.Королёва, г. Самара***

Р.А. СЕРЕБРЯКОВ, кандидат технических наук

***ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва***

Представлена разработка автономной, малогабаритной, экономичной и мобильной системы отопления для использования в объектах сельского хозяйства и промышленности.

Энергосберегающие технологии, возобновляемая энергетика, вихревой гидравлический теплогенератор, кавитационная труба.

В настоящее время в сельском хозяйстве существует задача широкого внедрения энергосберегающих технологий, которые позволят снизить материальные средства при создании новой продукции и уменьшить энергетические затраты в данном процессе. Перспективным направлением для этого являются альтернативные источники энергии.

Один из альтернативных видов возобновляемой энергетике –вихревая [2, 10], которая представляет собой технологии использования закрученных потоков сплошной среды (например, жидкости и газа) для преобразования их в тепловую энергию, работу, градиент температуры и давления.

Традиционными теплогенераторами, которые широко применяют в технике и быту, являются преобразователи энергии, использующие теплоту сгорания различного рода топлив (жидкого, твердого и

© В.В. БИРЮК, Р.А. СЕРЕБРЯКОВ, 2015

газообразного). К их недостаткам относятся загрязнение окружающей среды продуктами сгорания, значительные финансовые затраты при транспортировке и хранении энергоносителей.

Цель исследований – разработка автономной, малогабаритной, экономичной, гибкой в эксплуатации и технически безопасной теплоэнергетической установки – «Вихревой гидравлический теплогенератор» (ВГТ).

Материалы и методика исследований. Установка была создана в ФГНБУ ВИЭСХ совместно со СГАКУ ВГТ – это одно из направлений в решении задачи обеспечения потребностей населения, промышленности и сельского хозяйства тепловой энергией, особенно в регионах, удаленных от централизованных энергосетей. Устройство вырабатывает тепло посредством изменения физико-механических параметров жидкостной среды при её течении под комплексным воздействием ускоренного и заторможенного движения. Ускорение потока достигается путем создания вихря в системах закрутки потока вихревого теплогенератора с одновременным сужением потока в конфузоре, а торможение – последующим его расширением в кавитационной трубе теплогенератора и развихрением потока на выходе из кавитационной трубы.

Результаты исследований. Система теплоснабжения на базе ВГТ (рис. 1) состоит из системы закрутки потока 1, кавитационной трубы 2, развихрителя 3, теплопередающих устройств (теплообменник, батареи, калориферы и т.п.) 4, гидронасоса 5 с электродвигателем 6 и пульта управления работой теплогенератора 7.

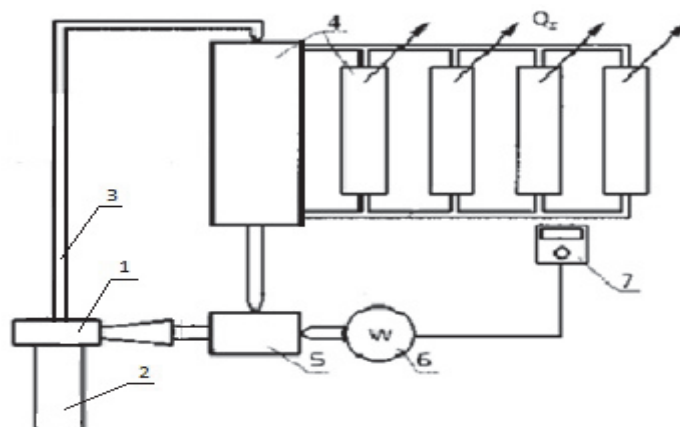


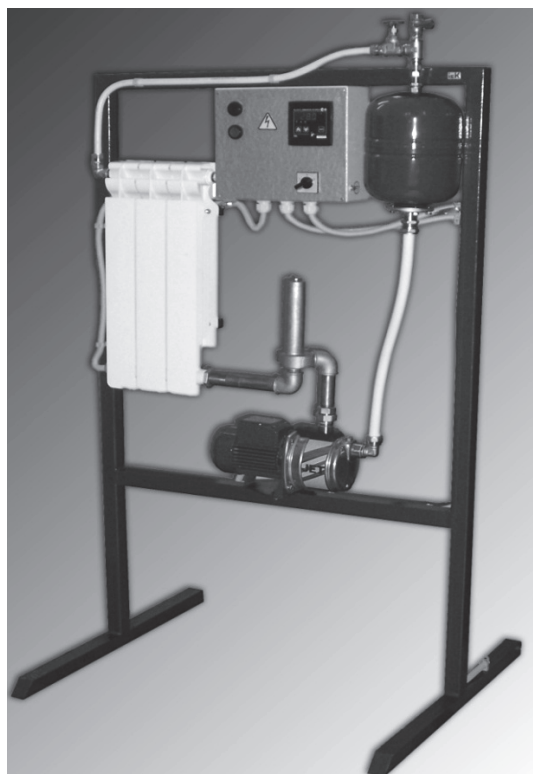
Рис.1. Схема децентрализованной системы теплоснабжения на базе ВГТ

В качестве источника тепла используется миниатюрный вихревой теплогенератор (ВГТ), работающий от гидронасоса. Электроэнергия используется только для запитки привода гидронасоса системы отопления, причем гидронасос запитывается электроэнергией только для подогрева воды. При остывании системы отопления до заданной температуры – гидронасос отключается (работает автомат контроля заданной температуры воздуха в помещении). Поэтому гидронасос,

например мощностью 1 кВт, на самом деле потребляет только – 0,5 кВт в течение часа работы, а гидронасос мощностью 0,6 кВт - только 0,3 кВт. Результаты испытаний показывают, что с гидронасосом мощностью 1,0 кВт вода в системе отопления нагревается до температуры выше +60 °С с расходом электроэнергии до 17–19 кВт·ч, а с гидронасосом мощностью 0,6 кВт – около +50 °С с расходом электроэнергии до 12–14 кВт·ч.

Особенностями вихревого гидравлического теплогенератора являются (рис. 2):

- тепловая мощность опытной установки (0,5...5) кВт для обеспечения теплом помещений;



- устройство экологически чистое, отсутствует необходимость сжигания углеводородных топлив (уголь, нефть, газ);
- отсутствуют нагревательные элементы;
- электроэнергия используется только для питания привода гидронасоса;
- отсутствует необходимость в водоподготовке;
- может нагревать любую жидкость (вода, нефть, газовый конденсат...);
- обеспечивает автоматическое поддержание температуры теплоносителя в заданном диапазоне температур;
- экономичен в эксплуатации и в обслуживании.

Рис. 2. Вихревой гидравлический теплогенератор

Выводы. Диапазон использования ВГТ достаточно широк и гибок, например представленная здесь конструкция может работать с гидронасосами мощностью до 5 кВт. Кроме того, ВГТ может настраиваться на поддержание в помещении любой температуры – так, ВГТ мощностью 1,0 кВт обеспечит +12 °С в коровнике площадью до 160 м², а тот же ВГТ с гидронасосом мощностью 2,5 кВт обеспечит +12 °С в коровнике площадью до 550 м² [1, 3–9].

Список литературы

1. Исследование процессов преобразования энергии в ВГТ / Р.А. Серебряков, Б.Н. Родионов, А.М. Савченко, В.Ф. Шарков // Наука и технологии в промышленности. – 2003. – №4. – 2004. – №1. – С. 52–54.

2. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике / А.П. Меркулов. – М.: Машиностроение, 1969. – 182 с.

3.Серебряков Р.А. Автономные, экономичные и экологически чистые системы локального теплоснабжения / Р.А. Серебряков, В.В. Бирюк // Науч. тр. ВИЭСХ. – 2000. – Т. 86. – С.173–181.

4.Серебряков Р.А. Вихревой гидравлический теплогенератор – альтернативный источник энергии / Р.А. Серебряков, В.В. Бирюк // Тр. 9-й Междунар. конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». – М.: ВИЭСХ, 2014. – Ч.3. – С.64–69.

5.Серебряков Р.А. Вихревой эффект энергетического разделения газов в системах охлаждения и кондиционирования / Р.А. Серебряков, В.В. Бирюк // Вестник МАИ. – № 10. – 1994. – С. 33–34.

6.Серебряков Р.А. Возможность использования вихревого гидравлического теплогенератора для нужд сельского хозяйства / Р.А. Серебряков // Тр. 8-й Междунар. науч.-техн. конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». – М.: ВИЭСХ, 2012. – Ч.3. – С.162–163.

7.Серебряков Р.А. Гидромеханический способ нагрева воды на овцеводческих фермах / Р.А. Серебряков, Р.С. Суюнчалиев, В.М. Усаковский // Достижения науки и техники АПК. – 2002. – № 4. – С. 18–21.

8.Серебряков Р.А. Некоторые вопросы теории вихревой энергетики / Р.А. Серебряков // Науч. тр. ВИЭСХ. – 1999. – Т. 85. – С. 34–54.

9.Серебряков Р.А., Мартынов А.В., Бирюк В.В. Оценка эффективности систем децентрализованного теплоснабжения на базе вихревых гидравлических теплогенераторов / Р.А. Серебряков, А.В. Мартынов, В.В. Бирюк // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2004. – № 7. – С.53–55.

10.Серебряков Р.А. Практическое применение вихревого эффекта / Р.А. Серебряков, В.В. Бирюк // Конверсия. – 1994. – №10. – С.19–20.

Подано розробку автономної, малогабаритної, економічної і мобільної системи опалення для використання в об'єктах сільського господарства і промисловості.

Енергозберігаючі технології, відновлювальна енергетика, вихревий гідрравлічний теплогенератор, кавітаційна труба.

The article presents the development of autonomous, compact, economical and mobile heating system for use in the interest of agriculture and industry.

Energy-saving technologies, renewable energy, vortex hydraulic heat, cavitation.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ МОДУЛЬНАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ВОДОПОДЪЕМНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ

**В.А. КОРОЛЕВ, кандидат технических наук
Г.Н. МЕТЛОВ, В.Н. ТОПОРКОВ, старшие научные сотрудники
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва**

Разработана модульная многофункциональная водоподъемная установка инженерных систем водоснабжения сельского жилища, технологических процессов производства небольших объемов аграрной продукции в условиях фермерских хозяйств. Установка обеспечивает подачу воды, минимизирует расход электроэнергии, осуществляет защиту объекта при возникновении аварийных ситуаций и может являться частью системы «умный дом». Заменой необходимых модулей и перепрограммированием модуля управления обеспечивается изменение выполняемых функций и параметров назначения установки.

Водоснабжение, система управления, эффективность, агрегатная модель, программируемый логический контроллер.

В настоящее время все шире применяют технологические структуры типов «интеллектуальное» здание, «интеллектуальное» производство и т.п. Подобные структуры состоят из элементов (модулей), объединенных в систему на основе шинных топологий, функции управления, наблюдения за процессами, защиты оборудования и др. Эти функции выполняют операционные системы, в частности, с применением программируемых контроллеров (ПЛК) и использованием стандартных протоколов двухстороннего обмена информацией между модулями. Оперативное расширение реализуемых функций здесь можно производить поэтапно и пофрагментно по мере готовности необходимых модулей с минимальной потребностью в монтажно-наладочных работах без нарушения работы существующей системы. В составе таких структур присутствуют модули различного назначения, которые целесообразно адаптировать к условиям проживания в сельской местности.

Цель исследований – обоснование структур унифицированных модульных устройств для сельского хозяйства на примере модульной многофункциональной водоподъемной установки инженерных систем водоснабжения сельского жилища, технологических процессов производства небольших объемов аграрной продукции в условиях фермерских хозяйств.

Материалы и методика исследований. Существует большая номенклатура оборудования автономного водоснабжения сельхозпроизводителей (быт, технологические процессы, вспомогательные

функции и др.). Как правило, это оборудование предназначено для выполнения конкретных операций, и при необходимости расширения его функциональных возможностей потребитель дополнительно приобретает устройства, специализированные под требуемые задачи. В ряде случаев часть вновь приобретаемых устройств функционально дублирует уже имеющееся оборудование и общая стоимость используемых устройств водоснабжения оказывается необоснованно завышенной.

Результаты исследований. Разработана и изготовлена модульная многофункциональная водоподъемная установка (ММВУ) инженерных систем водоснабжения сельского жилища, технологических процессов производства небольших объемов агропродукции в условиях фермерских хозяйств. Установка обеспечивает не только подачу воды из водоисточника в разводящую сеть дома и на технологические нужды, но и минимизирует расход электроэнергии, осуществляет защиту объекта при возникновении аварийных ситуаций и др., может являться частью системы «умный дом». Перечень технических требований и функций ММВУ формируется исходя из конкретных условий применения и пожеланий заказчика (таблица), изменение выполняемых функций и параметров назначения установки при эксплуатации обеспечивает выбор и замену (добавление) необходимых модулей и перепрограммирование модуля управления.

Модули ММВУ: базовые; технологические; вспомогательные. «Сердцем» ММВУ является модуль на базе ПЛК для управления оборудованием по заданной программе и с учетом реальных условий эксплуатации.

Системы управления с ПЛК характеризуют малые габариты и стоимость, низкий уровень потребляемой мощности, наличие специальных опций, например «сторожевого таймера» (watchdog timer), автоматически перезапускающего систему в случае «зависания» программы, хранение параметров в энергонезависимой памяти и др. Существенными техническими и экономическими преимуществами контроллеров, по сравнению с традиционными средствами управления, являются также более высокая надежность; экономическая рентабельность при расширении функций за счет загрузки новых блоков, интегрированных в приборе; максимальное облегчение и унификация процессов проектирования, наладки, тестирования и сервисного обслуживания оборудования с минимальными затратами времени и материальных ресурсов за счет конвергенции встроенных в программное обеспечение прибора приложений; совместимость с современным и перспективным оборудованием ведущих мировых производителей; простота защиты от внешних воздействий, возможность инсталляции и конфигурирования в промышленных сетях передачи данных (NET network) с использованием интерфейсов (RJ-45, RS-232, RS-485 и др.

На практике хорошо себя зарекомендовал отечественный контроллер – ПЛК-150 (ф. «Овен»), который применен в установке. Модули ММВУ (рис. 1) подключаются к выходам/входам ПЛК.

Состав ММВУ

Оборудование	Функции
Базовый комплект	
Блок управления	
Насос(ы) водоснабжения	Забор воды из скважин, перекачка воды из скважины в мобильную ёмкость и т.п.
Сигнализатор низкого уровня воды в скважине, датчик сухого хода	Оповещение о малом уровне воды в скважине, блокировка электропитания насоса
Гидроаккумулятор, датчик давления	Водоснабжение жилого дома и приусадебного хозяйства
Модуль очистки воды	Получение воды питьевого качества
Дренажный насос, датчик уровня, датчик протечки	Откачка воды из мест нежелательного её сбора
Водонагреватель, датчик температуры	Подогрев воды для бытовых и технологических нужд
Управляемые вентили	Управление водораспределением
Дополнительный комплект	
Ёмкость системы полива с.-х. культур с системой сбора дождевой воды, датчик уровня, датчик влажности	Полив растений
Ёмкость системы поения животных, датчик уровня	Поение животных
Ёмкость системы пожаротушения, датчик уровня	Запас воды для тушения пожара
Датчик температуры атмосферного воздуха	Предупреждение об опасности разморозки оборудования, его элементов и водопроводов
GPS-модуль	Передача информации
Нештатные функции	
Сушильная камера, датчик влажности, датчики температуры	Обработка продукции
Вентиляция, датчик влажности, датчики температуры	Вентилирование бытовых или сельскохозяйственных объектов
Датчики освещенности	Управление освещением
Датчики доступа, автоматический замок, имитатор присутствия, сирена	Охрана, предотвращение нежелательного доступа
Датчик дыма, датчик температуры	Тушение очагов возгорания

В ММВУ представлена возможность использования двухставочного тарифа учёта электроэнергии, согласно которому стоимость электроэнергии ночью (23–7 ч) существенно ниже, чем в дневное время, когда амплитуда питающего напряжения из-за пиковых перегрузок может опускаться ниже допустимых пределов, возможны отказы или сбои в работе оборудования (особенно в сельских сетях). Ночью параметры качества электроэнергии, как правило, выше, чем днем, и соответствуют существующим требованиям.

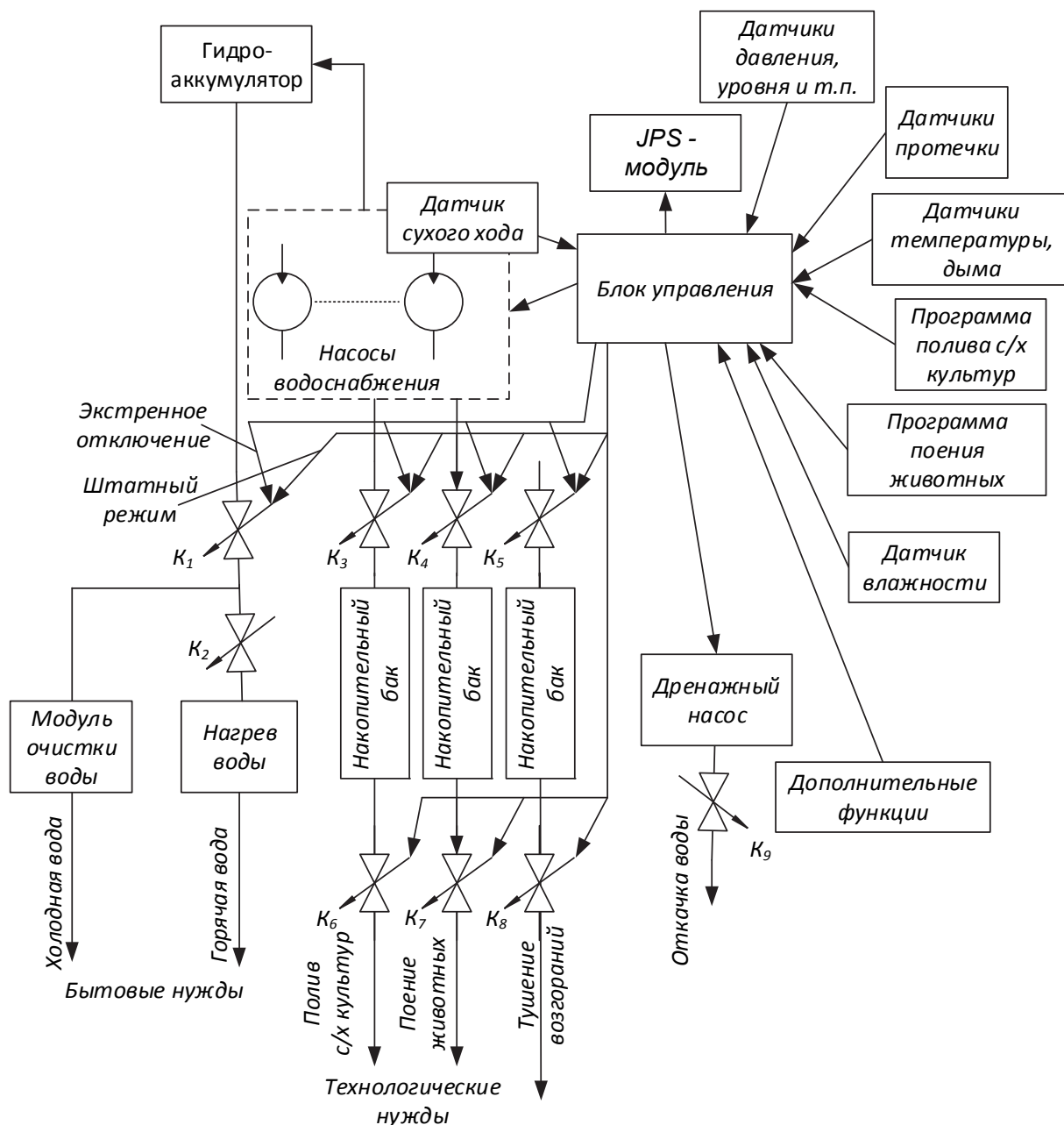


Рис. 1. Структура ММВУ

Проведена технико-экономическая оценка работы водоподъемных установок в диапазоне суточного водопотребления 0,5–5,0 м³/сут с насосным оборудованием производительностью от 0,25 до 1,0 м³/ч и гидропневматическими аккумуляторами емкостью от 5 до 50 % суточного водопотребления, с использованием их объема для принудительной закачки воды в ночное время. Установлено, что гидропневматические аккумуляторы хотя и имеют относительно простую конструкцию, их стоимость относительно велика и растет быстрее, чем их регулирующий объем. Поэтому резервирование 100 % суточного запаса воды при использовании ночного тарифа учета электроэнергии, даже в домах с небольшим водопотреблением, экономически нецелесообразно, не позволяет получить

приемлемые сроки окупаемости затрат, связанных с увеличением объемов гидропневматических аккумуляторов.

Перенос на ночное время другого энергоёмкого технологического процесса (нагрева воды для целей горячего водоснабжения) меняет ситуацию. Объемы горячего водопотребления существенно ниже и даже в домах с высоким уровнем комфорта не превышает 50 % от холодного водопотребления. Горячая вода приготавливается (подается) с завышенными параметрами температуры, при непосредственном использовании смешивают горячую воду (50–55 °С) с холодной (12–20 °С) в зависимости от сезона. Нагрев – существенно более энергоёмкий процесс, чем водоподъем, емкостный водонагреватель обеспечивает аккумуляцию и сохранение температуры воды (давление в сети, обеспечивает гидропневматический аккумулятор, который в этом случае может иметь минимальные размеры). Приготовление горячей воды в ночное время в автономных системах с использованием емкостных водонагревателей даст ощутимый экономический эффект.

Емкостные водонагреватели выпускают емкостью 5,0–500 л и мощностью 1,0–3,0 кВт, характеризуются улучшенными термоизоляционными характеристиками и длительно сохраняют температуру нагретой воды (снижение температуры за сутки не более 10–12 °С). Расположение водонагревателя в непосредственной близости от точек водопотребления, уменьшает потери тепла при движении горячей воды от водонагревателя до водоразборного крана. При нагреве воды до 60–70 °С объем водонагревателя можно уменьшить. Так, при суточном водопотреблении до 3,0 м³, в зависимости от количества проживающих людей, объем водонагревателя составит 50–200 л, а его дневная работа может быть полностью исключена.

Совместное использование гидропневматического аккумулятора и емкостного водонагревателя, работающих по заданной программе с использованием «ночного» тарифа оплаты электроэнергии, позволит снять часть нагрузки дневных пиков, а полученная экономия позволит окупить установку менее, чем за 2 года.

Алгоритм управления

При функционировании ММВУ выполняет различные операции, решает конкретные задачи $Y(a, t) =$ (рис. 2).

Работу ММВУ описывает агрегатная модель [1]: модули

$$A = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_5];$$

фазы (участки) цикла функционирования

$$T = [t_1 \ t_2 \ \dots \ t_{12}]^T;$$

состояния модулей на фазах (участках) цикла функционирования

1	1	1	0	0	0	1
1	1	1	0	0	0	1
1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	0	0
1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0

условия активации фаз (участков) функционирования

$$= \left\{ \begin{array}{l} [t_0 - t_1]: \bar{a}_2 \bar{a}_3 \bar{a}_4 \bar{a}_7 \bar{a}_{10} \bar{a}_{15} \bar{a}_{16} \rightarrow a_1 K_1; \\ [t_1 - t_2]: \bar{a}_2 \bar{a}_4 \bar{a}_7 \bar{a}_{10} \bar{a}_{15} \bar{a}_{16} \rightarrow a_1 a_3 K_2; \\ [t_2 - t_3]: \bar{a}_2 \bar{a}_7 \bar{a}_{11} \bar{a}_{12} \bar{a}_{13} \bar{a}_{15} \bar{a}_{16} \rightarrow a_1 K_4 K_3 K_5; \\ [t_3 - t_4]: \bar{a}_6 \bar{a}_7 \bar{a}_{11} \bar{a}_{17} \bar{a}_{15} \bar{a}_{16} \rightarrow K_6; \\ [t_4 - t_5]: \bar{a}_6 \bar{a}_8 \bar{a}_{12} \bar{a}_{15} \bar{a}_{16} \rightarrow K_7; \\ [t_5 - t_6]: \bar{a}_{15} \bar{a}_{16} a_{16} \rightarrow a_6 K_8; \\ [t_6 - t_7]: \bar{a}_{14} \bar{a}_{16} \rightarrow a_1 K_9; \end{array} \right.$$

где $a_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_5$ – перечень модулей; $[t_0, t_1, \dots, t_{12}]$ – перечень фаз (участков (фазы) цикла функционирования).

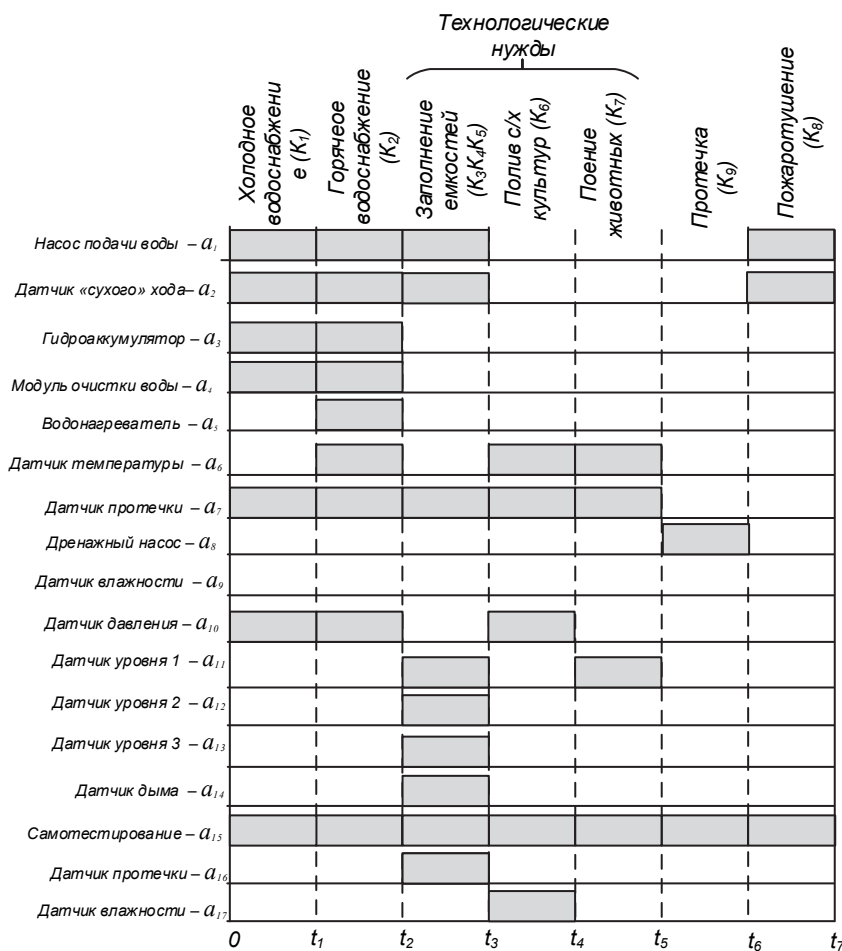


Рис. 2. Технологические операции при функционировании ММВУ

Кроме указанных выше функций, в ММВУ могут быть введены возможности расчета и оптимизации объемов водоснабжения в течение года и ежедневно, фиксация информации о недоиспользовании накопленной воды, диагностика оборудования, включение в работу модулей с учетом их приоритета, оценка рационального использования воды и т.п.

Выводы. Состав модульной многофункциональной водоподъемной установки инженерных систем водоснабжения сельского жилища,

технологических процессов производства небольших объемов агропродукции в условиях фермерских хозяйств комплектуется под нужды конкретного заказчика без избыточных функций. Расширение функций установки, замена и добавление нового оборудования, изменение режимов работы существующего предельно упрощены и после выполнения необходимых монтажных работ осуществляют путём перепрограммирования блока управления с применением агрегатной модели установки.

Список литературы

1.Кудрин Б.И. Классика технических ценозов / Б.И. Кудрин // Ценологические исследования. – М., 2006. – Вып.31. – 220 с.

2.Метлов Г.Н. Водоподъемная установка с гидропневматическим аккумулятором для круглогодичной эксплуатации / Г.Н. Метлов, В.А. Королев, В.В. Петрушин //Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. – Минск, 2012. – Т.3. – С. 91–93.

3.Пат. 2175083 Российская Федерация, МПК F04F7/00. Вибрационный насос / Усаковский В.М., Королев В.А., Метлов Г.Н. –№2000104375/06; заявл. 24.02.2000; опубл. 20.10.2001, Бюл. №29.

Розроблена модульна багатofункціональна водопідйомна установка інженерних систем водопостачання сільського житла, технологічних процесів виробництва невеликих обсягів аграрної продукції в умовах фермерських господарств. Установка забезпечує подачу води, мінімізує витрати електроенергії, здійснює захист об'єкта при виникненні аварійних ситуацій і може бути частиною системи «розумний дім». Заміною необхідних модулів і перепрограмуванням модуля управління забезпечується зміна виконуваних функцій і параметрів призначення установки.

Водопостачання, система управління, ефективність, агрегатна модель, програмований логічний контролер.

Modular multifunctional water lifting engineering systems installation water supply for rural housing, technological processes of production of small volumes of agricultural production in conditions of the farms are developed. Installation provides water, minimizes power consumption, protects the object in case of emergencies and may be part of the "smart home". Replacement of the required modules and reprogramming the control module is provided change functions and parameters of the installation destination.

Water-supply, managerial system, efficiency, unit model, programmed logical controller.

ГАЛЬМУВАННЯ ПРОТИВМИКАННЯМ ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ПРИСТРОЄМ ПЛАВНОГО ПУСКУ СЕРІЇ SSW

*І.М. ГОЛОДНИЙ, Ю.М. ЛАВРІНЕНКО, кандидати технічних наук
Національний університет біоресурсів і природокористування
України*

*А.В. ТОРОПОВ, кандидат технічних наук
ТОВ "ЦІТ Альтера"*

Проаналізовано алгоритми роботи силового блока та діаграми напруг при гальмуванні противмиканням пристроями плавного пуску серії SSW у системах регульованого асинхронного електропривода.

Пристрої плавного пуску, алгоритм, перехідний процес, напівпровідникові перетворювачі напруги, гальмівні режими роботи асинхронного електропривода, діаграми напруги.

Нині в промисловості дуже широко використовується сучасний регульований електропривод на базі силової електроніки, зокрема асинхронний електропривод з пристроями плавного пуску, наприклад серії SSW [1, 3]. Технічні характеристики, які наводяться в каталожних даних на нього, дають мало інформації про перехідні процеси електропривода, особливо в гальмівних режимах. Стаття присвячена поглибленому вивченню режиму роботи силового тиристорного блока і відповідних діаграм напруг при гальмуванні електропривода противмиканням.

Мета досліджень – більш ефективно використання пристроїв плавного пуску в гальмівних режимах асинхронних електроприводів.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз миттєвих значень напруг і режимів роботи напівпровідникового силового блока проводився з використанням положень теорії електропривода і силової електроніки та осцилографічних досліджень.

Результати досліджень. Пристрій плавного пуску – це електронний пристрій, що використовується для плавного пуску та керованого електричного гальмування асинхронних електродвигунів із короткозамкненим ротором з метою зменшення пускового струму або узгодження крутного моменту двигуна з моментом навантаження.

Необхідність обмеження пускового струму викликана причинами електричного і механічного характеру.

Причинами електричного характеру можуть бути:

- зменшення поштовхів струму в мережі. В деяких випадках необхідно обмежувати пусковий струм потужних двигунів до допустимого для мережі живлення.

- зменшення електродинамічних зусиль в обмотках двигуна.

Причинами механічного характеру обмеження пускового моменту двигунів можуть бути: запобігання поломкам або швидкому зношенню передач; буксуванню коліс рухомих візків; великих прискорень або сповільнень, недопустимих для обладнання або людей в різних засобах пересування (наприклад, у ескаляторах, ліфтах) та ін. Іноді необхідно зменшити пусковий момент навіть невеликого двигуна, щоб пом'якшити удари в передачах і забезпечити плавне його прискорення, запобігти виникненню гідравлічних ударів у трубах і засувках.

Залежність кутової швидкості асинхронного двигуна від напруги живлення нелінійна. Тому, плавний пуск із контролем наростання швидкості через складність реалізації нині не використовується. В більшості випадків намагаються реалізувати управління крутним моментом або струмом електродвигуна. Для цього в процесі пуску плавно змінюють напругу на статорі двигуна.

У пристроях плавного пуску типу SSW передбачена функція керованого електричного гальмування електродвигуна. З цією метою для прискорення зупинки привода застосовують гальмування противмиканням та динамічне гальмування постійним або випрямленим пульсуючим струмом. Іноді таке гальмування необхідне для передпускової зупинки вентилятора, що обертається в зворотний бік під дією тяги або іншого вентилятора.

Для забезпечення функції гальмування противмиканням у схему керування з пристроями плавного пуску вводять два зовнішні контактори *KM1* і *KM2* (рис. 1). Контактор *KM1* працює при двигунному режимі, *KM2* – у гальмівному.

Керування котушками контакторів відбувається за командами мікропроцесора пристрою плавного пуску *AU* через контакти реле *KV1* і *KV2*. Після плавного пуску двигуна обвідний контактор *KM3* блокує тиристорні силові ключі, завдяки чому збільшується ресурс роботи тиристорів та зменшуються втрати енергії в силовому колі.

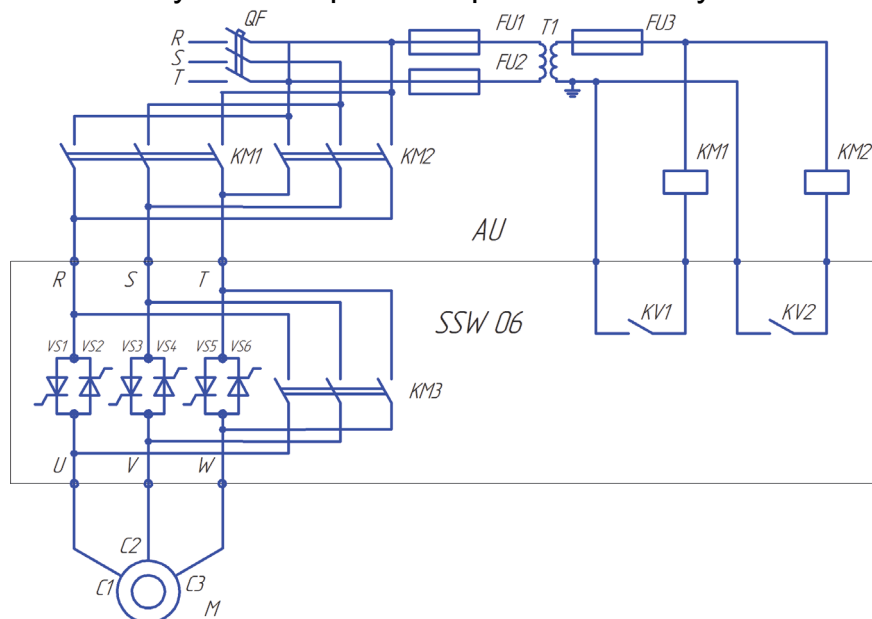


Рис. 1. Схема вмикання пристрою плавного пуску SSW-06 із гальмуванням противмиканням

Алгоритми процесу гальмування організуються по-різному. В одному випадку гальмування противмиканням відбувається до зупинки двигуна, після чого гальмівний контактор *KM2* вимикається. При цьому двигун розвиває значний гальмівний момент, який плавно спадає до значення пускового моменту [2].

В іншому випадку способом противмикання двигун гальмується до швидкості 20 % від номінальної, після чого вмикається динамічне гальмування пульсуючим струмом (рис. 2). В обох випадках обвідний контактор *KM3* вимкнений.

При динамічному гальмуванні тиристри фази *B* постійно закриті. Прямий тиристор *VS2* фази *A* та зворотний тиристор *VS5* фази *C* вмикаються, пропускаючи додатну півхвилю мережевої напруги. Діаграма напруг на виході пристрою плавного пуску при динамічному гальмуванні наведена на рис. 3.

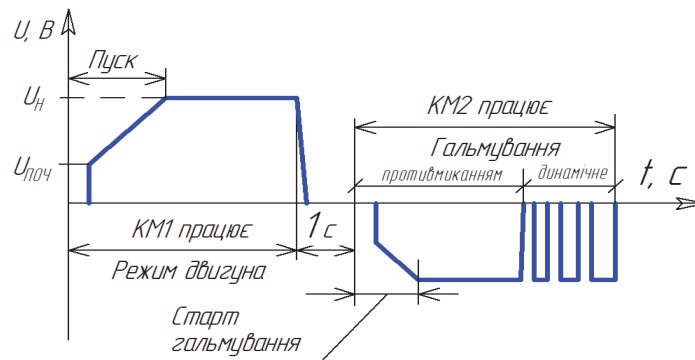


Рис. 2. Діаграма подачі напруги при спрацюванні керуючих перемикачів в режимі гальмування противмиканням

Осцилограма вихідної напруги, знята при дослідженні електропривода з пристроєм плавного пуску серії SSW і двигуном AIP90B4Y3 в режимі динамічного гальмування, підтверджує наші міркування (рис. 4).

Після відкриття тиристорів напруга на обмотках двигуна за синусоїдальним законом плавно збільшується, а потім спадає (див. рис. 3, б). При спаданні напруги завдяки енергії ЕРС самоіндукції статора двигуна гальмівний струм підтримується після переходу напруги живлення через нуль. Тривалість інтервалів провідності тиристорів *VS2* і *VS5* зростає і вони залишаються відкритими протягом деякого інтервалу після зміни полярності напруги живлення. З цієї ж причини в кривій випрямленої напруги з'являються ділянки напруги від'ємної полярності, що і підтверджує осцилограма вихідної напруги перетворювача плавного пуску в режимі динамічного гальмування (див. рис. 4).

Згідно з осцилограмою пристрій формує синусоїдальні імпульси, які за частотою збігаються з частотою мережі живлення і створюють гальмівний момент.

Алгоритмом керування пристроєм плавного пуску передбачено закривання тиристорів перед зупинкою двигуна, оскільки при малій

частоті обертання пульсуючий струм призводить до пульсацій моменту і, відповідно, швидкості.

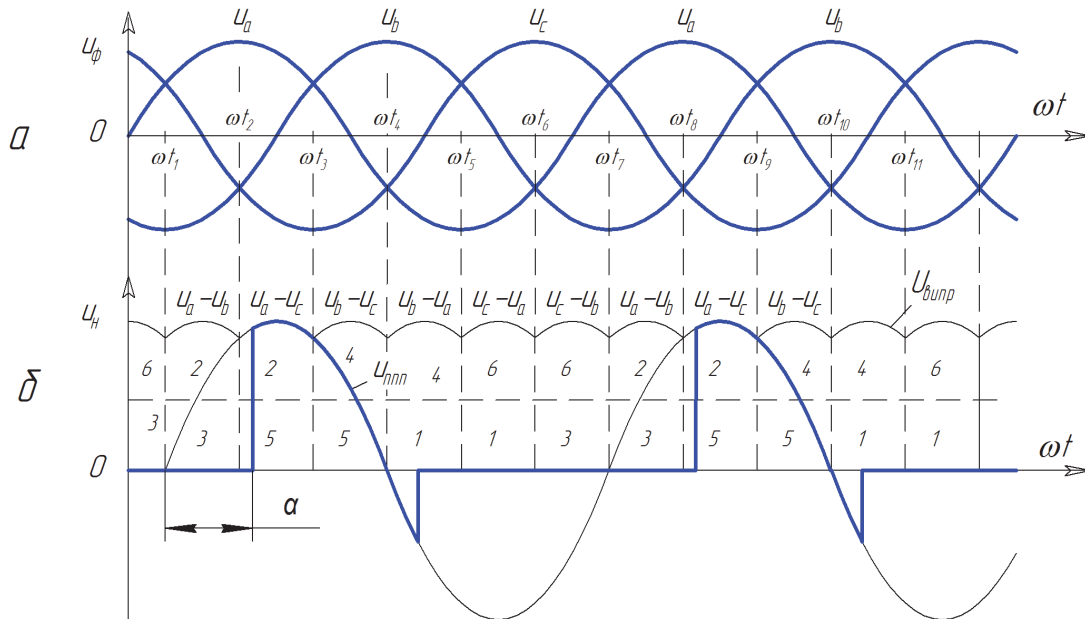


Рис. 3. Графіки миттєвих значень напруги мережі живлення (а) і на виході перетворювачів напруги при динамічному гальмуванні (б):

U_a, U_b, U_c – миттєві значення фазних напруг мережі живлення;
 $U_{ППП}, U_{ВИПР}$ – миттєві значення напруг, відповідно на виході пристрою плавного пуску та трифазного мостового випрямляча; α – кут відкриття тиристорів

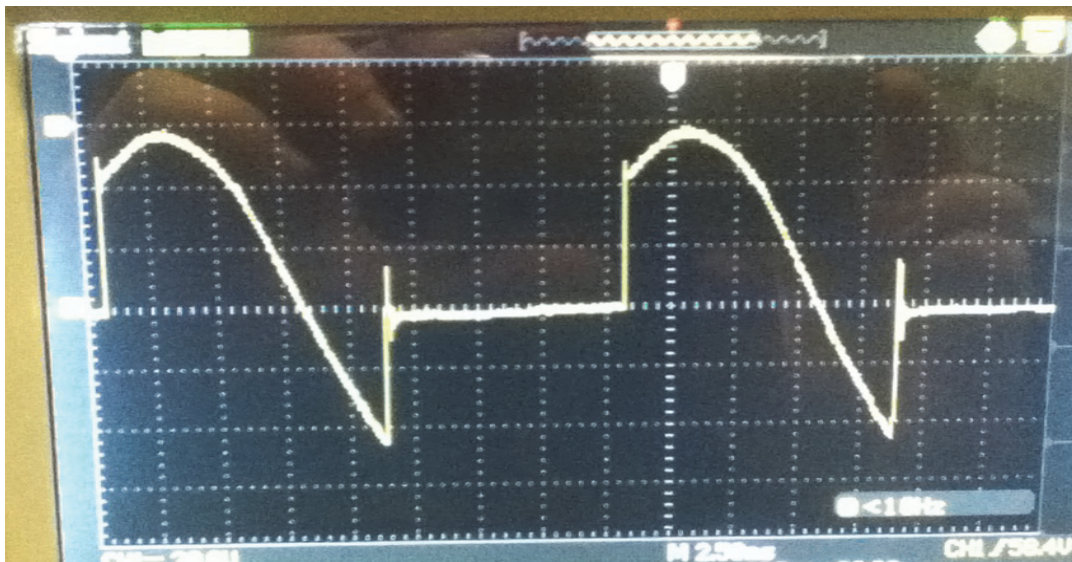


Рис. 4. Осцилограма миттєвих значень імпульсів напруги на виході пристрою плавного пуску SSW-06 у режимі динамічного гальмування

За рахунок зміни кута відкриття тиристорів VS2 і VS5 забезпечується регулювання гальмівного моменту. На практиці кут

відкривання тиристорів регулюють в межах 40–120 електричних градусів. Струм динамічного гальмування $I_{ГД}$ визначається за виразом:

$$I_{ГД} = \frac{U_{СЕР.ППП}}{2R_{ОБМ.S}},$$

де $U_{СЕР.ППП}$ – середнє значення напруги на виході пристрою плавного пуску; $R_{ОБМ.S}$ – опір фази статора.

Перевагами способу гальмування противмиканням є:

- висока ефективність для швидкої зупинки механізмів з великим моментом інерції;

- може бути застосований для схеми підключення обмоток двигуна трикутником з внутрішнім вмиканням ключів.

Недолік полягає в тому, що для реалізації функції гальмування противмиканням необхідно використовувати два зовнішні силових контактори.

Висновки. Для гальмування противмиканням в системах керування електроприводом з пристроями плавного пуску необхідні два зовнішні контактори.

Гальмування противмиканням часто комбінують з динамічним при живленні обмотки статора випрямленим пульсуючим струмом, який формується шляхом однопівперіодного випрямлення мережевої напруги.

Застосування динамічного гальмування забезпечує плавну зупинку двигуна.

У кривих випрямленого струму формуються ділянки від'ємної полярності, що знижує ефективність динамічного гальмування.

Величину гальмівного моменту регулюють кутом відкривання тиристорів в межах 40 – 120 електричних градусів.

Список літератури

1.Голодний І.М. Моделювання в MatLab процесу динамічного гальмування асинхронного електропривода / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко //Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 116. – С. 73–75.

2.Електропривод: підручник [Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко та ін.]; за ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: Ліра-К, 2009. – 504 с.

3.Устройство плавного пуска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electrocontrol.com.ua/ustrojstva-plavnogo-puska/ustrojstva-plavnogo-puska-ssw-06.html>

Проанализированы алгоритмы работы силового блока и диаграммы напряжений при торможении противовключением устройствами плавного пуска серии SSW в системах регулируемого асинхронного электропривода.

Устройства плавного пуска, алгоритм, переходной процесс, полупроводниковые преобразователи напряжения, тормозные режимы работы асинхронного электропривода, диаграммы напряжений.

The algorithms of work of power block and diagram of tensions are analysed at the braking the devices of the smooth starting of series of SSW in the systems of the managed asynchronous drive.

Devices of the smooth starting, algorithm, transitional process, semiconductor transformers of tension, brake modes of operations of asynchronous drive, diagrams of tensions.

УДК 620.91

РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ВОДОВОЗДУШНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК

***Р.А. СЕРЕБРЯКОВ, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва
С.Г. БАТУХТИН, соискатель*
ФБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет»,
г. Чита***

Рассмотрена энергоэффективная схема использования энергии солнца в системах централизованного теплоснабжения. Предложен способ интенсификации теплообмена за счет использования интенсификаторов луночного типа. Приведены результаты расчетного анализа предлагаемых способов.

Солнечный коллектор, теплоноситель, конструкция, система моделирования, эксперимент, потребитель, регулирование, тепловая энергия, энергосбережение, нагрузка, оптимизация.

Стратегической целью государственной энергетической политики в области формирования рационального топливно-энергетического баланса является оптимизация структуры производства, внутреннего потребления и экспорта топливно-энергетических ресурсов с учетом требований обеспечения энергетической безопасности, экономической и энергетической эффективности, усиления внешнеэкономических позиций страны. При этом на первом месте в ее выполнении в «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» определен рост значения возобновляемых источников энергии в обеспечении энергетических потребностей общества. Без внедрения технологий, позволяющих вытеснять органическое топливо из топливного баланса страны, невозможно выполнение основных положений стратегии, предусматривающих максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики и повышения качества жизни населения

* Научный руководитель - кандидат технических наук Р. А. Серебряков
© Р.А. СЕРЕБРЯКОВ, С.Г. БАТУХТИН, 2015

The algorithms of work of power block and diagram of tensions are analysed at the braking the devices of the smooth starting of series of SSW in the systems of the managed asynchronous drive.

Devices of the smooth starting, algorithm, transitional process, semiconductor transformers of tension, brake modes of operations of asynchronous drive, diagrams of tensions.

УДК 620.91

РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ВОДОВОЗДУШНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК

***Р.А. СЕРЕБРЯКОВ, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва
С.Г. БАТУХТИН, соискатель*
ФБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет»,
г. Чита***

Рассмотрена энергоэффективная схема использования энергии солнца в системах централизованного теплоснабжения. Предложен способ интенсификации теплообмена за счет использования интенсификаторов луночного типа. Приведены результаты расчетного анализа предлагаемых способов.

Солнечный коллектор, теплоноситель, конструкция, система моделирования, эксперимент, потребитель, регулирование, тепловая энергия, энергосбережение, нагрузка, оптимизация.

Стратегической целью государственной энергетической политики в области формирования рационального топливно-энергетического баланса является оптимизация структуры производства, внутреннего потребления и экспорта топливно-энергетических ресурсов с учетом требований обеспечения энергетической безопасности, экономической и энергетической эффективности, усиления внешнеэкономических позиций страны. При этом на первом месте в ее выполнении в «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» определен рост значения возобновляемых источников энергии в обеспечении энергетических потребностей общества. Без внедрения технологий, позволяющих вытеснять органическое топливо из топливного баланса страны, невозможно выполнение основных положений стратегии, предусматривающих максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики и повышения качества жизни населения

* Научный руководитель - кандидат технических наук Р. А. Серебряков
© Р.А. СЕРЕБРЯКОВ, С.Г. БАТУХТИН, 2015

страны. Для большинства регионов РФ наиболее перспективным из возобновляемых источников энергии является энергия солнца.

Цель исследований – обоснование параметров регенеративного водовоздушного теплообменника.

Материалы и методика исследований. В настоящее время разработано значительное количество различных схем использования энергии солнца в системах ГВС и водяного отопления. Отопление помещений теплым воздухом на основе источников теплоты различных типов позволяет во многих случаях значительно уменьшить капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Применение гелионагрева с использованием солнечных коллекторов различного типа в системах воздушного отопления позволит значительно повысить эффективность таких систем, а также увеличит степень замещения традиционных источников теплоты. В таких системах нагревается, в зависимости от температурного режима, вода или воздух, либо осуществляется совместный нагрев воды для нужд ГВС и воздух для отопления. Поскольку наша конечная задача – нагрев воздуха в помещении, то именно такие комплексы позволяют достичь максимальной эффективности, исключив все промежуточные процессы и преобразования. В качестве источника тепла они могут использовать как тепло сгораемого топлива, так и тепло, получаемое солнечными коллекторами [4].

Универсальность систем обуславливает широкую сферу их применения: от дома коттеджного типа до отопления гигантских промышленных помещений и тепличных комплексов.

К преимуществам воздушного отопления относятся [1]:

а)экономичность, поскольку тепло получается непосредственно в нагреваемом помещении;

б)улучшение условий нахождения в помещениях, так как нагрев воздуха на 40–70 0С вполне достаточен для приточной вентиляции;

с)малая инерционность, поскольку система воздушного отопления позволяет полностью прогреть помещение за 1,5–2 ч;

д)отсутствие промежуточного теплоносителя, что позволит отказаться от строительства водяного отопления. В зимнее время исключается риск размораживания системы;

е)высокая степень автоматизации позволяет вырабатывать тепло ровно по потребности.

Большинство преимуществ данной схемы возможно только при использовании в солнечных коллекторах незамерзающих жидкостей. Нагрев воздуха можно производить как в промежуточном теплообменнике от жидкости, нагретой в коллекторе, так и непосредственно в нем. На рис. 1 представлена схема использования теплоты солнца, позволяющая совмещать эти способы [6].

Применение этой схемы позволит использовать преимущества воздушных систем отопления при внедрении солнечных коллекторов комбинированного типа (с совместным нагревом воздуха и жидкого

теплоносителя), а также снизить температуру луче-воспринимающей пластины и, как следствие, потерь с излучением.

Сущность предлагаемой схемы заключается в том, что солнечный коллектор по нагреваемой среде подключают к воздухопроводу соединенным с отапливаемым помещением и антифризом, циркулирующим в контуре: бак аккумулятор - солнечный коллектор. Воздух посредством солнечной радиации и вынужденной конвекции при обтекании трубок и пластины подогревается, после подогрева направляется в воздухопровод, пройдя его, он направляется в систему воздушного отопления. Бак-аккумулятор по аккумулирующему теплоносителю подключен к холодному водопроводу и стороннему источнику теплоты, включенному через погруженную поверхность нагрева. Схема включения и способ работы солнечной установки изображены на рис. 1.

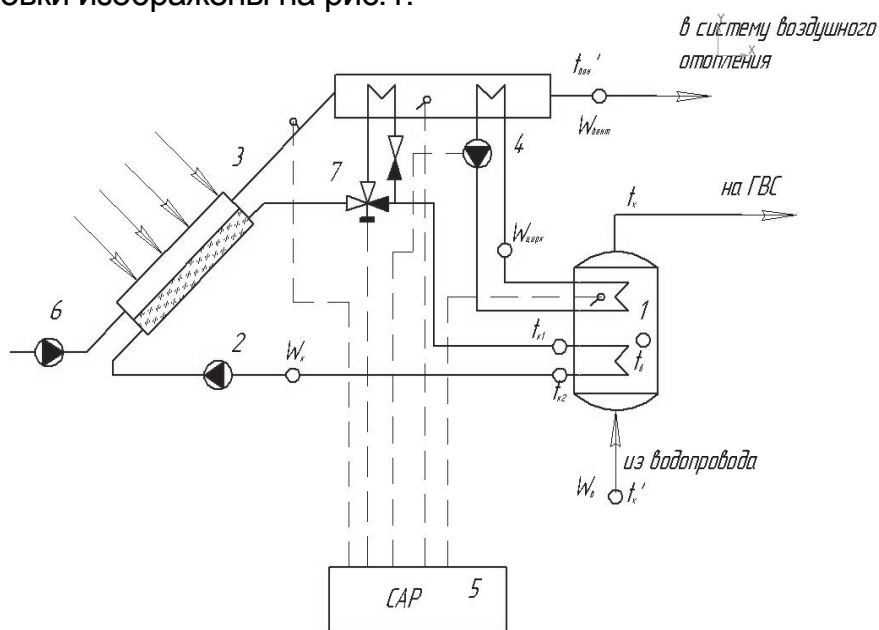


Рис. 1. Система гелио-воздушного отопления:

1 – бак-аккумулятор; 2 – насос гелиоконтура; 3 – гелиовоздушный солнечный коллектор; 4 – calorifier; 5 – система автоматического регулирования; 6 – вентилятор приточного воздуха; 7 – трехходовой клапан гелиоконтура

Эффективность коллектора (см. рис.1) может быть в значительной мере повышена посредством интенсификации теплообмена на поверхностях с полусферическими углублениями за счет увеличения площади теплообмена.

Еще в 90-е годы прошлого века в работах Р.А. Серебрякова, Г.И. Кикнадзе, Ю.К. Краснова и др. [5] изучался новый класс квазипотенциальных закрученных потоков газов и жидкостей, формирование которых достигается либо за счет слияния специально направленных струй рабочей сплошной среды, либо при обтекании его трехмерных «лунок» (т.н. «генераторов вихря») на энергообменных или несущих поверхностях.

Высокоэффективное практическое использование подобных потоков оказалось возможным благодаря широкомасштабным термодинамическим исследованиям и опытно-конструкторским работам. Так, согласно экспериментальным данным вихревые струи, сформированные в соответствии с точными решениями уравнений гидродинамики, увеличивают вдвое расход газа или жидкости по сравнению с потоками иной структуры при равных напорах в магистралях одинаковых размеров и формы. Такие закрученные течения самоорганизуются в потоках теплоносителей, обтекающих энергообменные поверхности, сформированные специальными профилями «генератор вихря» [2, 5, 8], существенно интенсифицируют тепло и массообмен при снижающемся аэродинамическом сопротивлении энергообменных каналов.

Результаты исследований. Для определения эффективности интенсификации был проведен расчет суточного тепловосприятия плоского водовоздушного коллектора с интенсификацией лунками и без (с использованием [3]).

Климатологические данные: г. Чита: долгота – 113 ч 23 мин, широта –52 ч 6 мин, дата 1 октября 2013 г.

Направление поверхности: угол наклона к горизонту – 45 град., азимутальное направление 180 град.

Пластина: размеры пластины приняты: 1000·100·10мм, материал – медь, толщина стенки 2 мм.

Трубки: количество 10 шт., диаметр 25 мм, материал – медь, толщина стенки 1 мм, доля охвата 50 %, материал термоинтерфейса – олово, толщина слоя 500 мкм.

Поглотитель: окраска – матовая черная краска (степень поглощения 95, чернота 5, селективность 0,4).

Внешняя изоляция: стекло – два слоя, толщина 1 мм, коэффициент ослабления 0,4 1/мм, размер прохода воздуха 30 мм.

Параметры воздуха: температура воздуха на входе 0 0С, расход воздуха - 1000 м3/ч.

При расчете суточного тепловосприятия регенеративного водовоздушного теплообменника с повышенной эффективностью теплообмена полученные по стандартной методике коэффициенты теплоотдачи повышаются пропорционально средним (по поверхности лунки) относительным коэффициентам теплоотдачи. Для учета увеличения площади теплообмена необходимо оценить ее относительное увеличение K_F и учесть ее в стандартной методике.

Для предложенных геометрических параметров полусферических углублений K_F принимает значения от 1,09 до 1,116 в зависимости от плотности упаковки (для предварительной оценки в расчетах принимался $K_F = 1,1$). Проведенные расчеты показали, что, режим течения турбулентный: $Re=696364$. Для такого режима при интенсификации на сферических интенсификаторах принимаем $\bar{\alpha} = 1.25$ (рис. 2 [7]).

Результаты расчета суточного тепловосприятия плоского водовоздушного коллектора сведены в таблицу.

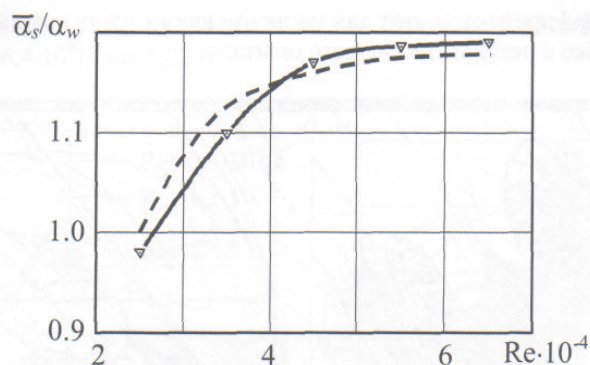


Рис. 2. Средние (по поверхности лунки) относительные коэффициенты теплоотдачи для сферической лунки [7]

Результаты расчета плоского коллектора (температура воздуха на входе = температура окружающей среды = 0 °С)

№ п/п	Местное время	Тепло, полезновоспринятое коллектором (без интенсификации), Вт	Тепло, полезновоспринятое коллектором (интенсификация: $K_F = 1,1$, $\bar{\alpha} = 1,25$), Вт
1	9:00	0	0
2	10:00	150	152
3	11:00	362	377
4	12:00	550	590
5	13:00	625	635
6	14:00	670	675
7	15:00	655	660
8	16:00	585	595
9	17:00	455	465
10	18:00	260	267
11	19:00	50	52
12	20:00	0	0
	Итого	4362	4468

Интенсификация показала 2,43 % повышение эффективности. Годовая эффективность интенсификации коллектора составит 106 кВт/м².

При текущем тарифе в системе централизованного теплоснабжения г.Читы 1925 руб./Гкал экономический эффект составляет 175,5 руб/ м².

Выводы. Расчет экономической эффективности показал значительный экономический эффект от внедрения предлагаемых способов.

Список литературы

1.Альтернатива котельным есть! Отопление теплым воздухом // Энергосбережение и проблемы энергетики Западного Урала. – 2008. – № 1–2 (июль). – С.18–22.

2. А.с. №247798 СССР. Устройство для выброса отработанного в ветродвигателе потока воздуха / Серебряков Р.А., Кикнадзе Г.И., Волов В.Т., Юденков Н.А. – Регистрация в Гос. реестре изобретений СССР 04.01.1987 г.

3. Басс М.С. Программа определения оптимальных технико-экономических показателей работы ТЭС / М.С. Басс, А.Г. Батухтин, С. Г. Батухтин. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2009614238.

4. Батухтин А.Г. Современные методы повышения эффективности совместной работы установок гелиоотопления и систем централизованного теплоснабжения / А.Г. Батухтин, С.Г. Батухтин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – №3. – С. 48–53.

5. Кикнадзе Г.И. Самоорганизация смерчеобразных вихревых структур в потоках газов и жидкостей и интенсификация тепло- и массообмена / Г.И. Кикнадзе, В.Г. Оленников. – Новосибирск, 1990. – 46 с. (Препринт ин-та теплофизики СО АН СССР, №227–90).

6. Пат. № 2403511 Российская Федерация, МКИ F24J2/42.. Солнечная установка и способ ее работы / Батухтин А.Г., Батухтин С.Г. – №2009119089/06; заявл. 20.05.2009; опубл. 10.11.2010, Бюл. №31.

7. Сапожников С.З. Основы градиентной теплотерии / Сапожников С.З., Митяков В.Ю., Митяков А.В. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 203 с.

8. Серебряков Р.А. Система энергоснабжения автономного сельского дома на основе использования энергии солнца, ветра и биомассы / Р.А. Серебряков, С.М. Мартиросов // Информ. бюл. «Возобновляемая энергия». – 1998. – №4. – С. 20–23.

Розглянуто енергоефективну схему використання енергії сонця в системах централізованого теплопостачання. Запропоновано спосіб інтенсифікації теплообміну за рахунок використання інтенсифікаторів ямкового типу. Наведено результати розрахункового аналізу запропонованих способів.

Сонячний колектор, теплоносій, конструкція, система моделювання, експеримент, споживач, регулювання, тепла енергія, енергозбереження, навантаження, оптимізація.

The article describes an energy-efficient scheme for using solar energy in district heating systems. Provides a method for enhancement of heat transfer through the use of intensifiers hole type. The results of the settlement analysis of the proposed methods.

Solar collector, coolant, design, system simulation, experiment, consumer, control, heat, energy saving, load, optimization.

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЯ ЛАЗЕРНОЇ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ

Л.Є. НИКИФОРОВА, доктор технічних наук
С.В. ГАЙДУКЕВИЧ, старший викладач
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

Наведено передумови вивчення технологічного режиму лазерної передпосівної обробки насіння соняшнику методом планування повного факторного експерименту.

Лазерний пристрій, соняшник, насіння, імпульсне опромінення, фактори, точки оптимуму.

Визначення технологічного режиму лазерної передпосівної обробки насіння соняшнику методом математичного планування експерименту другого порядку є достатньо перспективним напрямом. Від вибору факторів та рівнів їх варіювання залежить надалі значимість факторів. Може виявитися так, що важливий за значущістю фактор згідно з розрахунками може не впливати на процес, якщо рівні варіювання були визначені невірно. Це може призвести до того, що побудована модель процесу буде неточно описувати технологічний режим.

Нині розроблено різноманітні плани повного факторного експерименту. Великий вклад у розробку методики планування експерименту в дослідженнях сільськогосподарських процесів зробили С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин, Ф.Г. Гусейнов, О.С. Мамедяров [3,5]

Мета досліджень – обґрунтування передумов вивчення технологічного режиму лазерної передпосівної обробки насіння соняшнику методом планування експерименту.

Матеріали та методика досліджень. Для проведення експерименту технологічного режиму лазерної передпосівної обробки насіння соняшнику, були вибрані фактори та рівні їх варіювання (таблиця).

Фактори та рівні їх варіювання

Фактор	Одиниця вимірювання	Рівні варіювання факторів				Позначення
		-1	0	+1	Δ_i	
Кількість днів від опромінення до початку визначення посівних якостей насіння (ПЯН)	днів	3	9	15	6	X_1
Кількість імпульсів	тис. шт.	2	5	8	3	X_2
Щільність енергії	мВт/см ²	0,5	3,25	6	2,75	X_3

З метою скорочення загального обсягу дослідів ставиться експеримент з відсіювання.

Матриця планування експерименту з відсіювання другого порядку базується на трьох факторах. Це дозволяє отримати лінійні рівняння регресії у загальному вигляді. Матриця планування експерименту має вигляд:

$$X := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1.215 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.476225 & 0 & 0 \\ 1 & -1.215 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.476225 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.476225 & 0 \\ 1 & 0 & -1.215 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.476225 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.476225 \\ 1 & 0 & 0 & -1.215 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.476225 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 95 & 95 \\ 85 & 87 \\ 84 & 86 \\ 80 & 79 \\ 91 & 93 \\ 84 & 86 \\ 89 & 89 \\ 82 & 79 \\ 81 & 80 \\ 92 & 94.2 \\ 82 & 81 \\ 80 & 79 \\ 81 & 80 \\ 82 & 83 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Модель другого порядку визначають за виразом:

$$\tilde{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{j,i=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 \quad 1)$$

Коефіцієнти регресії кожного фактора за проведеними дослідями обчислюють за формулами:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N y_u}{N} ; \text{ або } B = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (2)$$

Помилку експерименту розраховують за формулою:

$$s_{b_i}^2 = \frac{s_0^2}{\sum x_{iu}^2}, \quad (3)$$

де s_0^2 – помилка дослідів, яка дорівнює:

$$s_0^2 = \frac{1}{N_0 - 1} \sum_{k=1}^{N_0} (y_{0k} - \bar{y}_0)^2, \quad (4)$$

де N_0 – кількість дослідів у центрі плану.

Отримують математичну моделі виду:

$$y_i = B_0 + B_1 z_1 + B_2 z_2 + B_3 z_3 + B_{12} z_1 z_2 + B_{13} z_1 z_3 + B_{23} z_2 z_3 + B_{11} z_1^2 + B_{22} z_2^2 + B_{33} z_3^2 \quad (5)$$

Визначаються дисперсії відтворюваності за критерієм Кохрена:

$G_p = 0,251 < 0,499$ ($G_m(\alpha = 0,05; 1, 25)$), на підставі яких можна зробити висновок, що відтворюваність дослідів добра.

За критерієм Стюдента визначають коефіцієнти поліноміальної регресії.

Розрахунковий критерій Стюдента $t_p = 1,746$. Таким чином, коефіцієнти B_3, B_{12}, B_{13} є незначущими, їх можна відкинути.

Результати досліджень. Отримане рівняння поверхні другого порядку має вигляд:

$$y_i = 31,462 + 4,137z_1 + 1,969z_2 + 1,125z_3 + 23,505z_1^2 + 19,237z_2^2 + 19,914z_3^2 \quad (6)$$

Для визначення адекватності моделі порівнюємо критичне і розрахункове значення критерію Фішера:

$$1,987 < 2,397.$$

Таким чином, отримана нелінійна модель є адекватною, тобто її можна використовувати при побудові області оптимуму та визначення його координат.

$$y_i = 125,63 - 11,063x_1 - 0,02x_2 - 17,54x_3 + 0,00021x_2x_3 + 0,653x_1^2 + 0,000005x_2^2 + 2,63x_3^2.$$

Розкодована нелінійна модель має вигляд:

Розглянемо можливі двовимірні значення, які мають найбільше практичне значення:

$$y_i = 125,63 - 11,063x_1 - 0,02x_2 - 17,54x_3 + 0,00021x_2x_3 + 0,653x_1^2 + 0,000005x_2^2 + 2,63x_3^2.$$

1. Двовимірний переріз поверхні відгуку, побудований за рівнянням:

$$y_i = 125,63 - 0,02x_2 - 17,54x_3 + 0,00021x_2x_3 + 2,63x_3^2 + 0,000005x_2^2,$$

при $x_1 = 0$, зображено на рис. 1.

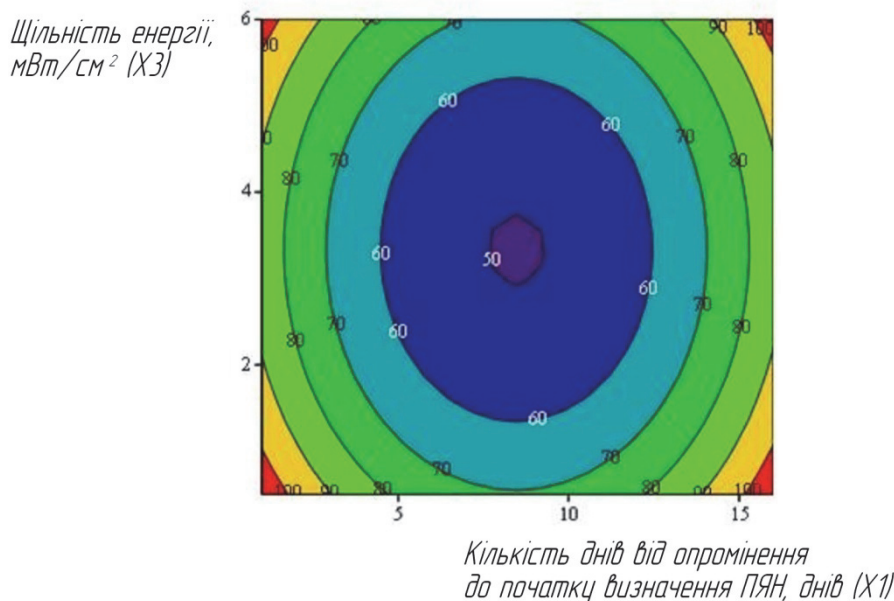


Рис. 1. Поверхня та лінії рівнів функції відгуку ($x_1=0$)

2. Двовимірний переріз поверхні відгуку, побудований за рівнянням:

$$y_i = 125,63 - 11,063x_1 - 17,54x_3 + 2,63x_3^2 + 0,653x_1^2,$$

при $x_2 = 0$, зображено на рисунку 2.

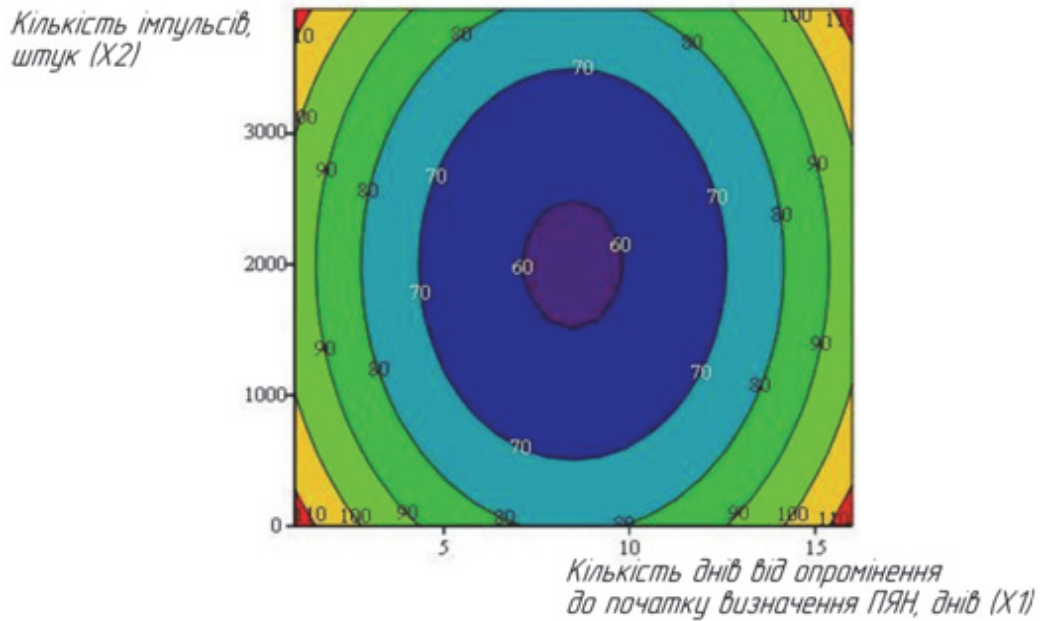


Рис. 2. Поверхня та лінії рівнів функції відгуку ($x_2=0$)

3. Двовимірний переріз поверхні відгуку, побудований за рівнянням:

$$y_i = 125,63 - 0,02x_2 - 11,063x_1 + 0,653x_1^2 + 0,000005x_2^2,$$

при $x_3 = 0$, зображено на рис. 3.

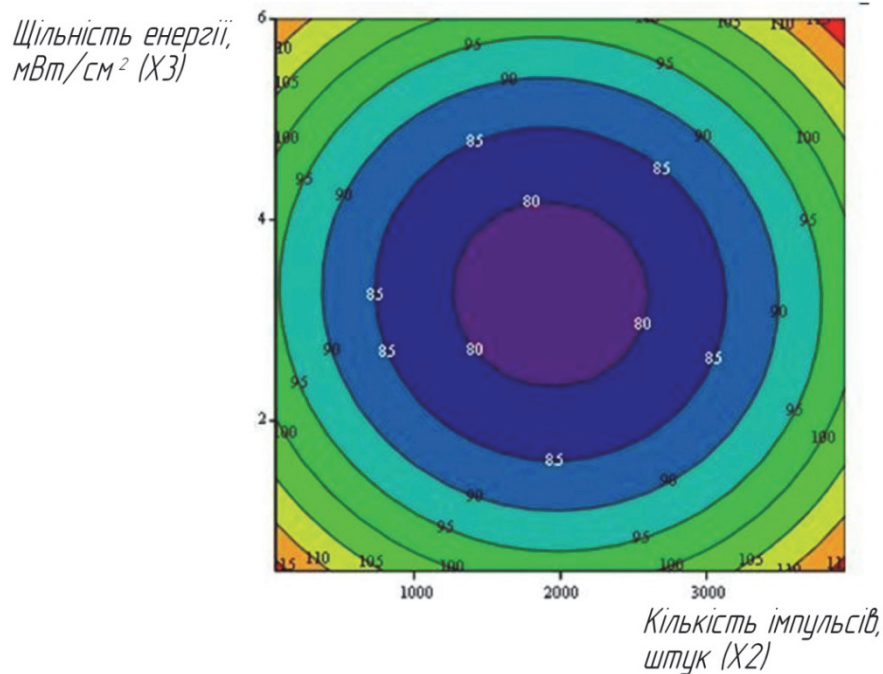


Рис. 3. Поверхня та лінії рівнів функції відгуку ($x_3=0$)

Висновки

1.3 метою реалізації плану повного факторного експерименту визначено фактори, рівні їх варіювання та матриця планування експерименту.

2. Запропоновано рівняння моделі, що описують вплив факторів на критерій оптимізації. Це дозволило визначити технологічний режим лазерної передпосівної обробки насіння соняшнику, а саме: кількість днів від опромінення до початку визначення посівних якостей насіння (ПЯН) – 8,47 днів; кількість імпульсів – 1931 шт.; щільність енергії – 3,25 мВт/см².

3. Побудовано графіки, які дають змогу визначити залежність зміни ПЯН від щільності енергії, кількості імпульсів та днів від опромінення до початку визначення ПЯН.

Список літератури

1. Букатый В.И. Воздействие лазерного излучения на семена сельскохозяйственных культур: монография / В.И. Букатый, В.П. Карманчиков // Лазер и урожай. – Барнаул: Изд-во АТУ, 1999. – 58 с.

2. Величко О.И. Влияние лазерного освещения семян и проростков на активность карбоангидразы в проростках кресс-салата / О.И. Величко, О.Т. Демкив // Физиология и биохимия культурных растений. – 2003. – Т. 35, №1. – С. 22–28.

3. Гусейнов Ф.Г. Планирование эксперимента в задачах элетроэнергетики / Ф.Г. Гусейнов, О.С. Мамедяров. – М. : Энергоиздат, 1988. – 151 с.

4. Лобко В.В. Существенна ли когерентность низкоинтенсивного лазерного света при его воздействии на биологические объекты / В.В. Лобко, Т. Й. Кару, В.С. Летохов // Биофизика. – 1985. – Т. 30, вып. 2. – С. 366–371.

5. Скрипник М.М. Энергозберігаючі електротехнології опромінювання рослин / М.М. Скрипник // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2006. – №2/3 (18). – С. 22 – 26.

Приведены предпосылки изучения технологического режима лазерной предпосевной обработки семян подсолнечника методом планирования полного факторного эксперимента.

Лазерное устройство, подсолнух, семена, импульсное облучение, факторы, точки оптимума.

In work the resulted pre-conditions of studying of a technological mode of laser processing of seeds of sunflower are resulted by a method of planning of full factorial experiment.

Laser device, sunflower, seed, impulsive irradiation, factors, points of optimum.

ЭКОНОМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРЕРЫВИСТЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ В ПТИЦЕВОДСТВЕ

**А.В. ДУБРОВИН, доктор технических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва**

Рассмотрены вопросы информатизации и автоматизации технологий в птицеводстве. Предложена схема устройства управления прерывистым освещением в автоматизированном режиме по экономическому критерию.

Информационные технологии при автоматизации технологических процессов, эффективность производства, технико-экономический параметр.

Различные значения величины освещённости B при постоянном освещении приводят к различным результатам выращивания птицы по её продуктивности. Наивысшая продуктивность соответствует нормативной освещённости с технологически оптимальным значением $B_{технол}^{опт}$. Любые отклонения освещённости от этого значения на величину $\pm \Delta B$ приведут только к падению результирующей продуктивности поголовья. Значит, при любом способе управления технологическим процессом прерывистого освещения всегда следует поддерживать точное значение нормативной освещённости птицы определённого вида, линии (красса) и возраста.

При прерывистом освещении за промежутком времени освещённого состояния птичника следует промежуток времени темноты в помещении для птицы. Другими словами, период времени прерывистого освещения составляет время совместного действия импульса света и времени темноты до появления очередного такого импульса. Известное отношение периода следования (повторения) импульса к длительности этого импульса называется скважностью импульсов (в данном контексте – световых импульсов). Величина, обратная скважности, называется коэффициентом заполнения. Эта величина часто используется в литературе на английском языке и пишется “*Duty cycle*” (*англ.*). Понятно, что коэффициент заполнения – отношение длительности импульса к периоду их следования, т.е. скважность и коэффициент заполнения являются по отношению друг к другу обратными безразмерными величинами. Однако, стоит уточнить, что в *англоязычной документации* коэффициент заполнения, как правило, измеряется в процентах (%). Тогда значение коэффициента заполнения p (в данном контексте – заполнения птичника искусственным светом) при постоянном освещении равно 1 (единице), а при прерывистом освещении изменяется от 0 (от

нуля) – полная темнота, до почти единицы – почти постоянное освещение с очень короткими временными промежутками темноты.

Цель исследований – разработка экономически оптимального управления прерывистым освещением в птицеводстве по экономическому критерию.

Материалы и методика исследований. При сопоставимых значениях изменений затрат на освещение и прироста цены реализованной продукции (точнее, стоимости произведённой продукции в ценах реализации) экономическая оптимизация прерывистого режима освещения может оказаться экономически целесообразной. Возникает существенный баланс между указанными изменениями. Реализация этого баланса путём экономически оптимального управления по величине коэффициента заполнения p (соответствующему фактически по принятому в птицеводстве соотношению светлого и тёмного времен) приводит к смещению значения этого коэффициента от его значения при технологически оптимальном (критерий продуктивности поголовья) режиме прерывистого освещения $p_{технол}^{опт}$ к меньшему его значению при экономически (критерий прибыли) оптимальном режиме прерывистого освещения $p_{экон}^{опт}$ на величину $(p_{экон}^{опт} - p_{технол}^{опт})$. Происходит экономия электроэнергии на освещение, превышающая неизбежное некоторое снижение продуктивности поголовья. В результате такого управления появляется дополнительная (инновационная) экономическая эффективность $\Delta П_{ЭОУ}^{прерыв доп}$ управления по экономическому критерию технологическим процессом прерывистого освещения птичника по отношению к обычному автоматическому поддержанию даже наиболее удачного режима с его экономической эффективностью $\Delta П_{технол}^{опт пост}$ по отношению к режиму постоянного освещения с оптимальной (нормативной) освещённостью $V_{технол}^{опт}$.

Результаты исследований. На рис. 1 представлен характер взаимной зависимости от коэффициента заполнения p технических $V_{технол}^{опт} \pm \Delta V$, технологических $П_{технол}^{пост}$, $Прод_1^{пост}$, $Прод_2^{пост}$, $Прод_3^{пост}$, $Прод_1^{прерыв}(p)$, $Прод_2^{прерыв}(p)$, $Прод_3^{прерыв}(p)$, $\Delta Прод_1^{прерыв}$, $\Delta Прод_2^{прерыв}$, $\Delta Прод_3^{прерыв}$ и экономических $П_{технол}^{опт}$, $П_{ЭОУ}(p)$, $\Delta П_{технол}^{опт пост}$, $\Delta П_{ЭОУ}^{прерыв доп}$, $\mathcal{E}_{осв}(p)$, $\Delta \mathcal{E}_{осв}^{пост}$, $\mathcal{E}_{осв}^{пост доп}$, $\Delta \mathcal{E}_{осв}^{прерыв доп}$ характеристик процесса прерывистого освещения промышленного птичника: $V_{технол}^{опт}$ – значение технологически оптимальной (нормативной) освещённости во время светового импульса, Вт/м²; $\pm \Delta V$ – отклонение освещённости от её оптимального (нормативного) значения $V_{технол}^{опт}$, Вт/м²; $V_{технол}^{опт} \pm \Delta V$ – значения освещённости во время светового импульса, Вт/м²; p – коэффициент заполнения, отн. ед.; $p_{технол}^{опт}$ – технологически оптимальное значение коэффициента заполнения p для получения наивысшей продуктивности птицы в третьем варианте прерывистого освещения птичника (в трёх частных случаях $V_1 < V_2 < V_3 = V_{технол}^{опт}$ изменения освещённости значения коэффициента заполнения принимаются одинаковыми $p_{технол}^{опт} = p_{технол}^{опт} = p_{технол}^{опт}$), отн. ед.; $p_{экон}^{опт}$ – экономически оптимальное значение коэффициента заполнения для получения наивысшей прибыли от технологического процесса в наилучшем

по освещённости третьем варианте прерывистого освещения птичника, отн. ед.; $P_{технол}^{пост}$ – постоянная наивысшая (нормативная) продуктивность при постоянном нормативном освещении, кг/ед. времени; $Прод_1^{пост}$, $Прод_2^{пост}$, $Прод_3^{пост}$, $Прод_1^{прерыв}(p)$, $Прод_2^{прерыв}(p)$, $Прод_3^{прерыв}(p)$ – продуктивности соответственно при постоянном и при прерывистом освещении в трёх показанных вариантах освещённости, кг/ед. времени; $\Delta Прод_1^{прерыв}$, $\Delta Прод_2^{прерыв}$, $\Delta Прод_3^{прерыв}$ – соответствующие наивысшие приросты продуктивности птицы при переходе с постоянного на прерывистое освещение, кг/ед. времени; $P_{технол}^{опт}_3(p)$ – зависимость прибыли от коэффициента заполнения для третьего технологически наилучшего варианта управления по технологическому критерию (по продуктивности), руб./ед. времени; $P_{ЭОУЗ}(p)$ – зависимость прибыли от скважности импульсов освещения для третьего технологически наилучшего варианта управления по экономическому критерию (по прибыльности), руб./ед. времени; $\Delta P_{технол}^{опт\ пост}_3$ – наивысший прирост прибыли при переходе с постоянного освещения на третий (по освещённости) вариант управления прерывистым освещением по критерию продуктивности ($p = p_{технол}^{опт}_3$), руб./ед. времени; $\Delta P_{ЭОУЗ}^{пост}$ – наивысший прирост прибыли при переходе с постоянного освещения на третий (по освещённости) вариант управления прерывистым освещением по критерию прибыли ($p = p_{экон}^{опт}_3$), руб./ед. времени; $\Delta P_{ЭОУ}^{прерыв\ доп}$ – наивысший инновационный дополнительный прирост прибыли (в третьем наилучшем варианте освещения птичника при технологически оптимальной освещённости $V_{технол}^{опт}$) при переходе от управления прерывистым освещением по критерию продуктивности к управлению прерывистым освещением по критерию прибыли, руб./ед. времени; $\mathcal{E}_{осв}(p)$ – прямая пропорциональная зависимость эксплуатационных затрат на электроэнергию для прерывистого освещения от его коэффициента заполнения, руб./ед. времени; $\Delta \mathcal{E}_{осв3}^{пост}$ – наивысшая экономия затрат на электроэнергию для прерывистого освещения по критерию продуктивности по сравнению с постоянным освещением, руб./ед. времени; $\mathcal{E}_{осв3}^{пост\ доп}$ – наивысшая экономия затрат на электроэнергию для прерывистого освещения по критерию прибыли по сравнению с постоянным освещением, руб./ед. времени; $\Delta \mathcal{E}_{осв3}^{прерыв\ доп}$ – инновационная дополнительная экономия затрат на электроэнергию для прерывистого освещения при переходе от управления по критерию продуктивности к управлению по критерию прибыли, руб./ед. времени.

Показаны три варианта нарастающей от малого значения до технологически оптимального значения величины освещённости птичника (нижние индексы 1, 2, 3 в обозначениях указанных величин). В третьем режимном варианте экономически оптимального управления прерывистым освещением по величине коэффициента заполнения p также используется значение технологически оптимальной (технологически наилучшей) освещённости $V_{технол}^{опт}$ во время светового импульса.

В процессе многолетних и многочисленных технологических испытаний птицеводами установлены нормативные требования к постоянной освещённости птицы различных видов и возрастов, в настоящее время в

некоторых частных случаях даже нормируется количественная связь между коэффициентом заполнения прерывистого освещения и продуктивностью птицы. Для управления прерывистым освещением по экономическому критерию следует поступать указанным в этой книге образом. Надо иметь математическую модель продуктивности птицы в зависимости от величины освещённости при прерывистом освещении с изменяющимся значением коэффициента заполнения. Требуется наложить ограничения на изменения управляемых параметров. Следует провести имитационное математическое моделирование и построить точные количественные соотношения в виде представленных на рис. 1 графиков функций. При решении оптимизационной задачи определяются экономически оптимальные режимы освещения и коммутации в осветительных приборах птичника.

Прод, кг/ед. времени; $\mathcal{E}_{\text{осв}}(p)$, $\Pi(p)$, $\Delta\Pi$, руб./ед. времени

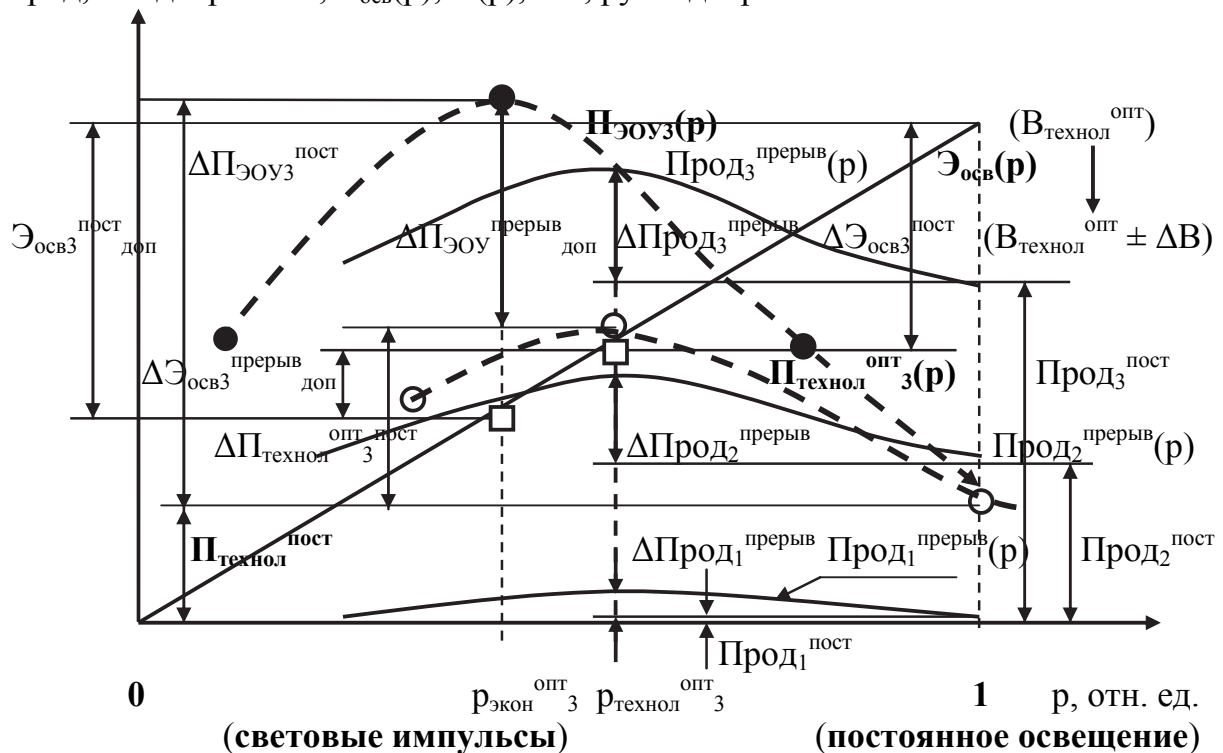


Рис. 1. Иллюстрация технологических и экономических характеристик процесса прерывистого освещения промышленного птичника в зависимости от скважности импульсов освещения и технического параметра освещённости

Измерение освещённости и коэффициента заполнения позволяют повысить точность управления и построить уточнённую функциональную схему устройства управления прерывистым освещением по экономическому критерию (рис. 2).

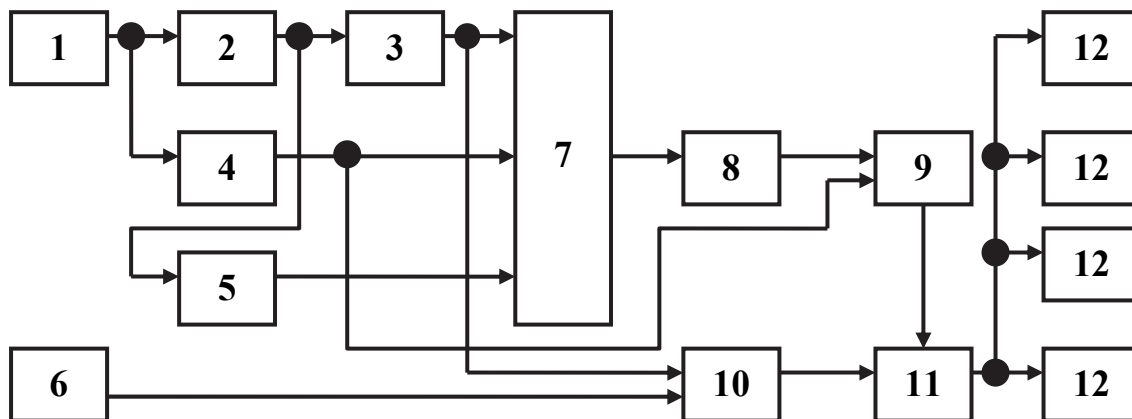


Рис. 2. Функциональная схема устройства экономически оптимального управления прерывистым освещением птичника:

1 – задатчик времени; 2 – задатчик вида, линии (красса) и возраста птицы; 3 – задатчик технологически оптимальной (нормативной) освещённости; 4 – задатчик переменного сигнала коэффициента заполнения, в диапазоне изменения от нуля до единицы (например, генератор пилообразного напряжения); 5 – блок задатчиков коэффициентов математических моделей для технологии и экономики прерывистого освещения птицы; 6 – датчик освещённости; 7 – вычислительный блок; 8 – блок оптимизации скважности освещения; 9 – формирователь импульсов освещения с переменным коэффициентом заполнения (ждущий мультивибратор или фантастрон); 10 – регулятор освещённости; 11 – схема совпадения; 12 – осветительные приборы птичника.

Основу построения математической модели экономически оптимального управления прерывистым освещением составляет известная модель В.А. Грабаурова [1]. Климатическая математическая модель биологического объекта представляет собой зависимость продуктивности птиц (суточный прирост массы бройлеров от их возраста и факторов микроклимата, в граммах массы) $\Pi_{\text{бр}}$ от возраста птиц t (в сутках) и основных параметров микроклимата – температуры воздуха T (в градусах по шкале Цельсия), относительной влажности воздуха B_1 (в процентах) и загазованности воздуха K_A (массовая концентрация аммиака в воздухе, мг/м³):

$$\Pi_{\text{бр}}(t, T, B_1, K_A) = a_0 + a_1t + a_2T + a_3B_1 + a_4K_A + a_5t^2 + a_6T^2 + a_7B_1^2 + a_8K_A^2 + a_9tT + a_{10}tB_1 + a_{11}tK_A + a_{12}TB_1 + a_{13}TK_A + a_{14}B_1K_A, \quad (1)$$

где a_0, a_1, \dots, a_{14} – коэффициенты уравнения регрессии, или константы для процесса управления микроклиматом в промышленном птичнике: $a_0 = -715,1$; $a_1 = 6,354$; $a_2 = 27,076$; $a_3 = 9,594$; $a_4 = -0,870$; $a_5 = -0,025$; $a_6 = -0,343$; $a_7 = -0,050$; $a_8 = -0,009$; $a_9 = -0,104$; $a_{10} = -0,024$; $a_{11} = 0,003$; $a_{12} = -0,102$; $a_{13} = 0,012$; $a_{14} = 0,008$.

Графически это серия оптимальных почти параболических кривых, всё более «высоких» и «широких» и смещающихся влево по абсциссе температуры с возрастом бройлера в зависимости от температуры среды обитания. Это понятно, т.к. с возрастом птицы улучшается её теплозащита, и она слабее реагирует на отклонения температуры среды от комфортного для организма данного возраста значения. При росте птицы также растут её суточные привесы. Аналогично отражает рост и развитие птицы при всех прочих равных факторах математическая модель влияния на продуктивность птицы прерывистого освещения:

$$P(p) = \Phi(t, T, B, p) = a_0 + a_1t + a_2T + a_3B + a_4p + a_5t^2 + a_6T^2 + a_7B^2 + a_8p^2 + a_9tT + a_{10}tB + a_{11}tp + a_{12}TB + a_{13}Tp + a_{14}Bp, \quad (2)$$

где a_0, a_1, \dots, a_{14} – коэффициенты уравнения регрессии, или константы, значения которых отличаются от приведённых в (1) значений и определяются в специально организованных новых опытах птицеводов и инженеров по определению влияния режима прерывистого освещения на продуктивность поголовья в птичнике.

В предлагаемом научно-техническом решении параметр температуры воздуха считается нормативным (наилучшим при всех условиях) и не влияющим на изменения продуктивности при изменениях возраста птицы, освещённости и коэффициента заполнения освещения. Все члены уравнения, содержащие величину температуры воздуха T (в градусах по шкале Цельсия), изменяются только в связи с изменениями требуемого значения нормативной температуры воздуха $T_{норм}$ из-за изменения возраста поголовья t . Эти связи отражены в связях устройства экономически оптимального управления технологическим процессом прерывистого освещения: задатчик вида, линии (красса) и возраста птицы 2 определяет работу блока задатчиков коэффициентов математических моделей для технологии и экономики прерывистого освещения птицы 5. Блок 5 формирует $T = T_{норм}$ в качестве не переменной величины, а значения обычного коэффициента для последующего математического моделирования по (2) в вычислительном блоке 7. Блок оптимизации скважности освещения 8 устанавливает на своём выходе найденное оптимальное значение расчётного по формуле (2) коэффициента заполнения $p_{экон}^{опт}$. Задатчик переменного сигнала коэффициента заполнения 4 устанавливает значение коэффициента заполнения p , сигнал о котором сравнивается в формирователе импульсов освещения с переменным коэффициентом заполнения 9 (по существу в функциональном аналоге обычной схемы сравнения) с сигналом расчётного экономически оптимального коэффициента заполнения $p_{экон}^{опт}$. Выходной сигнал формирователя 9 разрешает прохождение через схему совпадения 11 отрегулированного в регуляторе освещённости 10 сигнала нормативной освещённости в осветительные приборы птичника 12.

Выводы. Устройство работает в режиме нормативного прерывистого освещения птичника или определённой производственной

технологической зоны в птичнике с экономически оптимальным значением коэффициента заполнения. Достигается наивысшая прибыльность технологического процесса прерывистого освещения поголовья птицы [2].

Список литературы

1.Грабауров В.А. Исследование математической модели биологического объекта биотехнической системы / В.А. Грабауров, Е.И. Савченко. – Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1986. – 5 с. – Деп. во ВНИИТЭИСХ, №59-ВС-87.

2.Дубровин А.В. Основы автоматизированного управления технологическими процессами в птицеводстве по экономическому критерию / А.В. Дубровин. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2013. – 292 с.

Розглянуто питання інформатизації та автоматизації технологій у птахівництві. Запропоновано схему пристрою керування переривчастим освітленням в автоматизованому режимі за економічним критерієм.

Інформаційні технології при автоматизації технологічних процесів, ефективність виробництва, техніко-економічний параметр.

The problem of information and automation technology in poultry are considered. The scheme intermittent lighting control unit in automatic mode for economic criterion are proposed.

Information technologies by automation of technological processes, efficacy of production, technical and economic parameter.

ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ В МИКРОФАКЕЛЬНЫХ ГОРЕЛКАХ С ПОДКОВООБРАЗНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПЛАМЕНИ

Н.М. ФИАЛКО, доктор технических наук, чл.-корр. НАН Украины

Ю.В. ШЕРЕНКОВСКИЙ, кандидат технических наук

В.Г. ПРОКОПОВ, доктор технических наук

Н.П. ПОЛОЗЕНКО, научный сотрудник

С.А. АЛЕШКО, О.Е. МАЛЕЦКАЯ, кандидаты технических наук

Е.И. МИЛКО, старший научный сотрудник

А.А. ОЗЕРОВ, научный сотрудник

О.Н. КУТНЯК, младший научный сотрудник

Институт технической теплофизики НАН Украины

Л.С. БУТОВСКИЙ, кандидат технических наук

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Приведены данные математического моделирования течения топлива и окислителя в горелочных устройствах стабилизаторного типа при эшелонированном подковообразном расположении стабилизаторов. Представлены результаты сопоставления структуры потока для подковообразно и лестнично эшелонированных решеток стабилизаторов. Рассмотрены такие основные характеристики течения как длины зон обратных токов в закормовых областях стабилизаторов, перераспределение расходов в межстабилизаторных каналах, среднеквадратичные пульсации скорости и пр.

Эшелонирование стабилизаторов пламени, микрофакельные горелки, подковообразное расположение стабилизаторов, структура течения.

Микрофакельное горение в системе стабилизаторов пламени относится к наиболее эффективным способам сжигания газообразного топлива. Среди различных вариантов организации указанного микрофакельного горения важное место занимает сжигание топлива в эшелонированных решетках стабилизаторов, т.е. в условиях смещённого расположения стабилизаторов друг относительно друга вдоль по потоку [1–4]. Благодаря применению различным образом эшелонированных стабилизаторных решеток возможно обеспечение формирования требуемых для тех или иных ситуаций температурных полей в зоне горения. При этом особо выделяются две характерные ситуации эшелонирования

© Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, В.Г. Прокопов,
Н.П. Полозенко, С.А. Алешко, О.Е. Малецкая,
Е.И. Милко, А.А. Озеров, О.Н. Кутняк, Л.С. Бутковский, 2015

стабилизаторов. Первая из них отвечает условиям, когда в целях дополнительного подогрева захлажденного пода котла требуется соответствующее смещение ядра факела. Такая необходимость имеет место для целого ряда типов котлоагрегатов таких как ДКВР, ТВГ и т.д. Для реализации указанных условий эффективным оказывается применение так называемого лестничного эшелонирования стабилизаторов пламени.

Следующая из рассмотренных характерных ситуаций соответствует необходимости снижения тепловой нагрузки на стенки амбразуры котла. Здесь для выполнения указанного требования рациональным является использование различных вариантов подковообразного расположения стабилизаторов пламени.

В настоящее время отсутствует полнота информации об особенностях протекания рабочих процессов в горелочных устройствах с эшелонированным расположением стабилизаторов, которая необходима для конструирования устройств такого типа.

Цель исследований – установление основных закономерностей течения в микрофакельных горелках с подковообразно эшелонированными решетками плоских стабилизаторов пламени.

Материалы и методика исследований. Рассматривается картина течения природного газа и воздуха в стабилизаторных горелочных устройствах при подковообразном размещении стабилизаторов (рис. 1).

Решетка стабилизаторов располагается в прямоугольном канале горелочного устройства, ограниченном входным $\Gamma_{вх}$ и выходным $\Gamma_{вых}$ поперечными сечениями и боковой поверхностью канала $\Gamma_{бок}$. На вход канала подается воздух, который омывает наружные поверхности стенок стабилизаторов. Газ к стабилизатору подводится из газоподающего коллектора (4) через входное сечение $\Gamma_{г}$ канала (5). Выйдя из канала (5), газ омывает внутренние поверхности стенок стабилизатора, обеспечивая их охлаждение, и через систему газоподающих отверстий (3) в боковых стенках стабилизатора подается непосредственно на горение. Эшелонирование решетки осуществляется за счет смещения стабилизаторов друг относительно друга вдоль потока на некоторую постоянную величину – шаг смещения $L_{см}$ (рис.1, а).

Математическая модель, описывающая процессы течения и массопереноса в канале горелочного устройства, включает в себя следующие дифференциальные уравнения в частных производных.

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho U_j)}{\partial x_j} = 0, \quad (1)$$

где ρ – плотность среды; t – время; x_j – декартова координата, $j=1,2,3$; U_j – компоненты вектора скорости в направлении x_j .

Заметим, что в уравнении (1) и в дальнейших соотношениях подразумевается суммирование по повторяющемуся индексу.

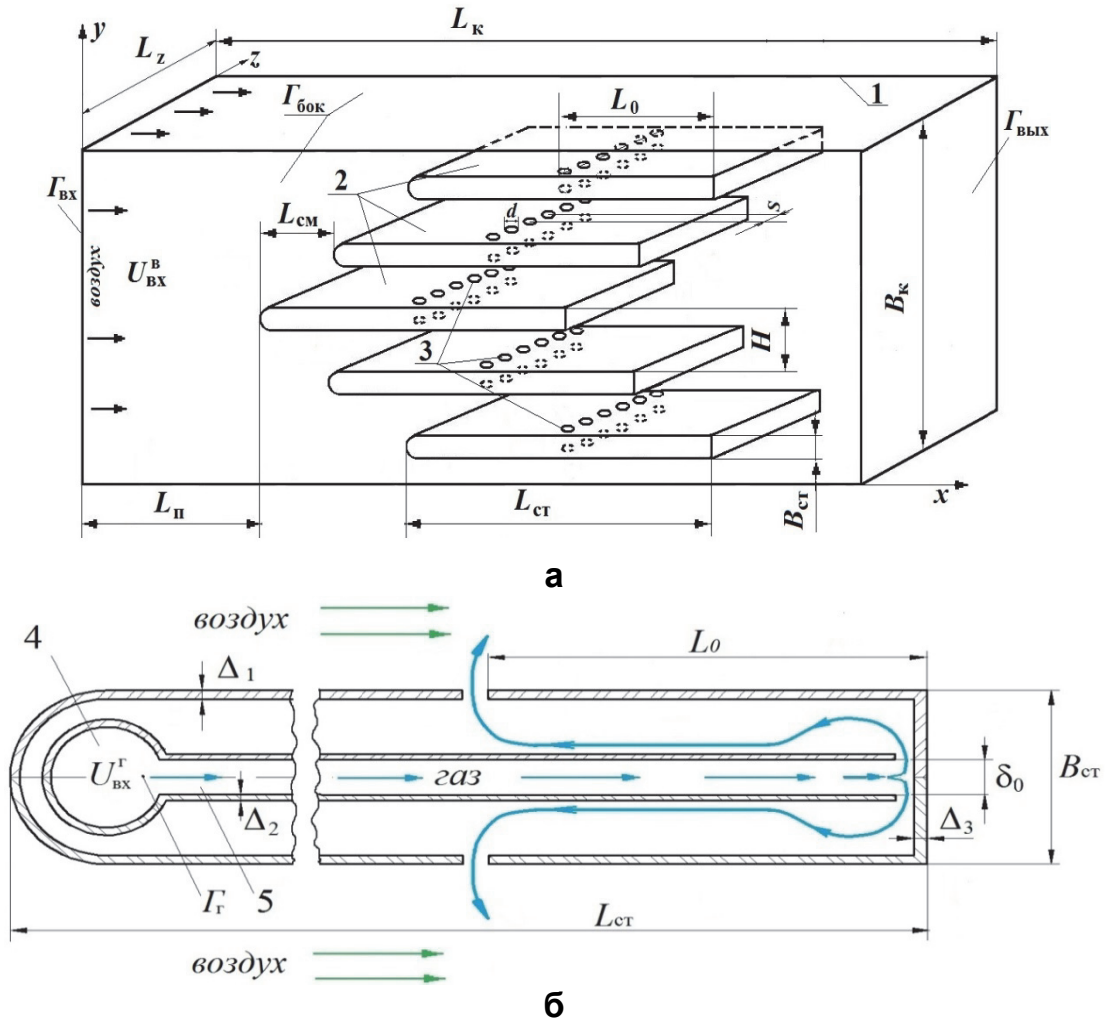


Рис.1. Схема сжигания газа в подковообразно эшелонированной стабилизаторной решетке (а) и система охлаждения (б) стабилизатора с обдувом его торцевой поверхности плоской импактной струей:

1 – плоский канал; 2 – стабилизатор пламени; 3 – газоподающие отверстия; 4 – газоподающий коллектор; 5 – канал для охлаждающего газа

Заметим, что в уравнении (1) и в дальнейших соотношениях подразумевается суммирование по повторяющемуся индексу.

Уравнение движения:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho U_i) + \frac{\partial(\rho U_j U_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial(\tau_{ij})}{\partial x_j}, \quad i=1,2,3, \quad (2)$$

где P – статическое давление; τ_{ij} – компоненты тензора напряжений,

$$\tau_{ij} = 2(\mu + \mu_T)S_{ij} - \frac{2}{3} \left[(\mu + \mu_T) \frac{\partial U_n}{\partial x_n} + \rho \cdot k \right] \delta_{ij}. \quad (3)$$

Здесь – кинетическая энергия турбулентных пульсаций; μ, μ_T – молекулярная и турбулентная динамическая вязкость; δ_{ij} – символ Кронекера; S_{ij} – компоненты тензора скоростей деформаций,

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

Уравнения сохранения массы компонентов смеси могут быть записаны в следующем виде:

$$\frac{\partial \rho_K}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_K U_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu}{Sc_K} + \frac{\nu_T}{Sc_T} \right) \frac{\partial \rho_K}{\partial x_j}, \quad (5)$$

$$K = 1, 2, \dots, N-1,$$

где ρ_K – парциальная массовая плотность K -го компонента, $\rho_K = \rho w_K$; w_K – массовая концентрация K -го компонента; N – число

компонентов смеси; Sc_K – число Шмидта K -го компонента, $Sc_K = \frac{\nu}{D_K}$; D_K – коэффициент диффузии K -го компонента; ν, ν_T – кинематическая и турбулентная кинематическая вязкость; Sc_T – турбулентное число Шмидта.

Замыкание приведенной системы уравнений осуществляется на основе RNGk- ϵ модели турбулентности. Численная реализация решения рассматриваемой задачи осуществлялась с применением программного пакета Fluent.

Результаты исследований. В качестве примера рассматривается ситуация, отвечающая решетке, состоящей из трех стабилизаторов пламени (рис.2).

На рисунках 3–4 и в таблицах 1–3 приведены характерные результаты выполненных исследований, которые соответствуют следующим значениям исходных параметров: $U_{вх}^B = 6,8$ м/с; $U_{вх}^Г = 24$ м/с; $L_p = 0,2$ м; $L_{ст} = 0,215$ м; $L_k = 1,5$ м; $H = 0,075$ м; $V_k = 0,225$ м; $V_{ст} = 0,03$ м; $L_{см} = 0,06$ м; $L_0 = 0,02$ м; $d = 0,0045$ м; $S/d = 3,55$, где S – шаг расположения газоподающих отверстий: топливо – природный газ, окислитель – воздух.

На рис. 3 приведены поля продольной составляющей скорости U_x в сечении, проходящем через центры газоподающих отверстий, при подковообразном расположении стабилизаторов и установке их торцов в одной плоскости. Как видно, скорости в межстабилизаторных каналах в случае эшелонированного расположения стабилизаторов оказываются более высокими, чем скорости в пристеночных каналах. То есть в каналах подковообразно эшелонированной решетки происходит определенное перераспределение расходов в сравнении с условиями, когда такое эшелонирование отсутствует.

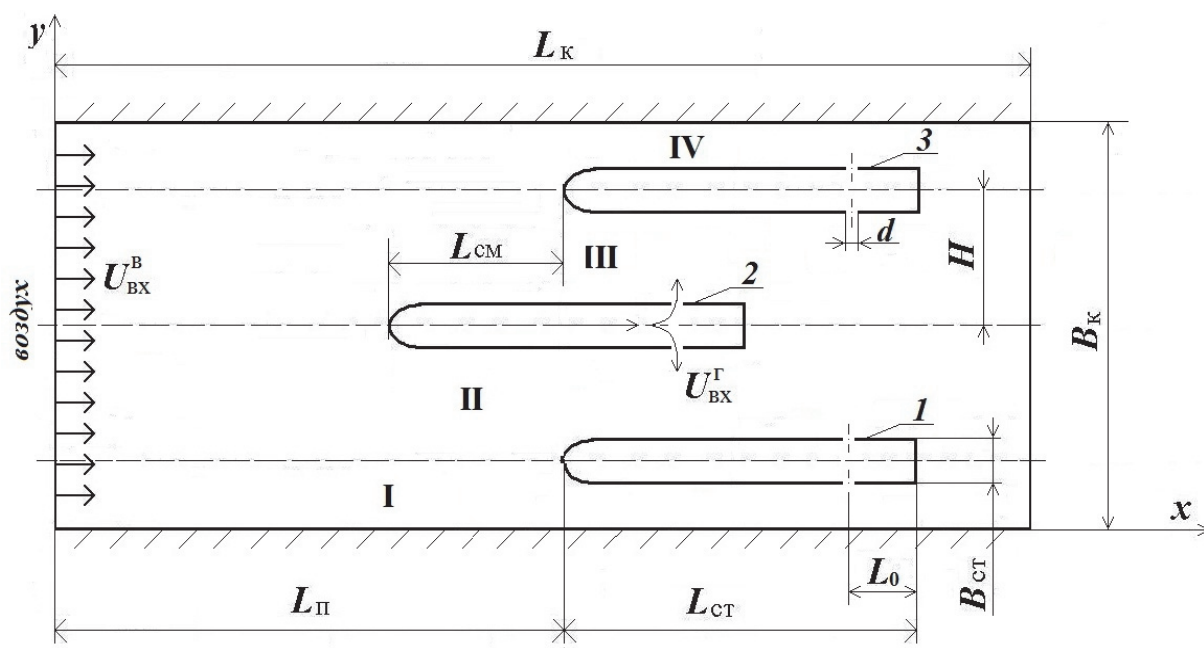


Рис. 2. К постановке задачи для подковообразно эшелонированной решетки стабилизаторов:
1, 2, 3 – первый, второй и третий стабилизаторы пламени;
I, IV – пристеночные каналы; II, III – межстабилизаторные каналы

Результаты сопоставления средних значений скорости в каналах для подковообразно и лестнично эшелонированных решетки, а также для случая отсутствия эшелонирования представлены в табл. 1 и 2.

Здесь $\Delta = \bar{U}_x^э - \bar{U}_x^{нэ}$, где $\bar{U}_x^э$, $\bar{U}_x^{нэ}$ – среднее значение продольной составляющей скорости в каналах эшелонированной и неэшелонированной

решетки соответственно;
$$\delta = \frac{\Delta}{\bar{U}_x^{нэ}} \cdot 100\%$$

1. Средние значения продольной составляющей скорости \bar{U}_x в каналах неэшелонированной и эшелонированных решеток стабилизаторов пламени

Тип решетки	Скорости \bar{U}_x в каналах, м/с			
	I	II	III	IV
Неэшелонированная	11,0	11,5	11,5	11,0
Лестнично эшелонированная	11,5	12,18	11,18	9,76
Подковообразно эшелонированная	10,09	11,97	11,97	10,9

2. Абсолютные Δ и относительные δ отклонения средних значений продольной составляющей скорости в каналах эшелонированных решеток от их величин при отсутствии эшелонирования

Тип решетки		Номер канала			
		I	II	III	IV
Лестнично	Δ , м/с	0,55	0,68	-0,32	-1,24
эшелонированная	δ , %	5,00	5,91	-2,78	-11,27
Подковообразно	Δ , м/с	-0,91	0,47	0,47	-0,91
эшелонированная	δ , %	-8,27	4,09	4,09	-8,27

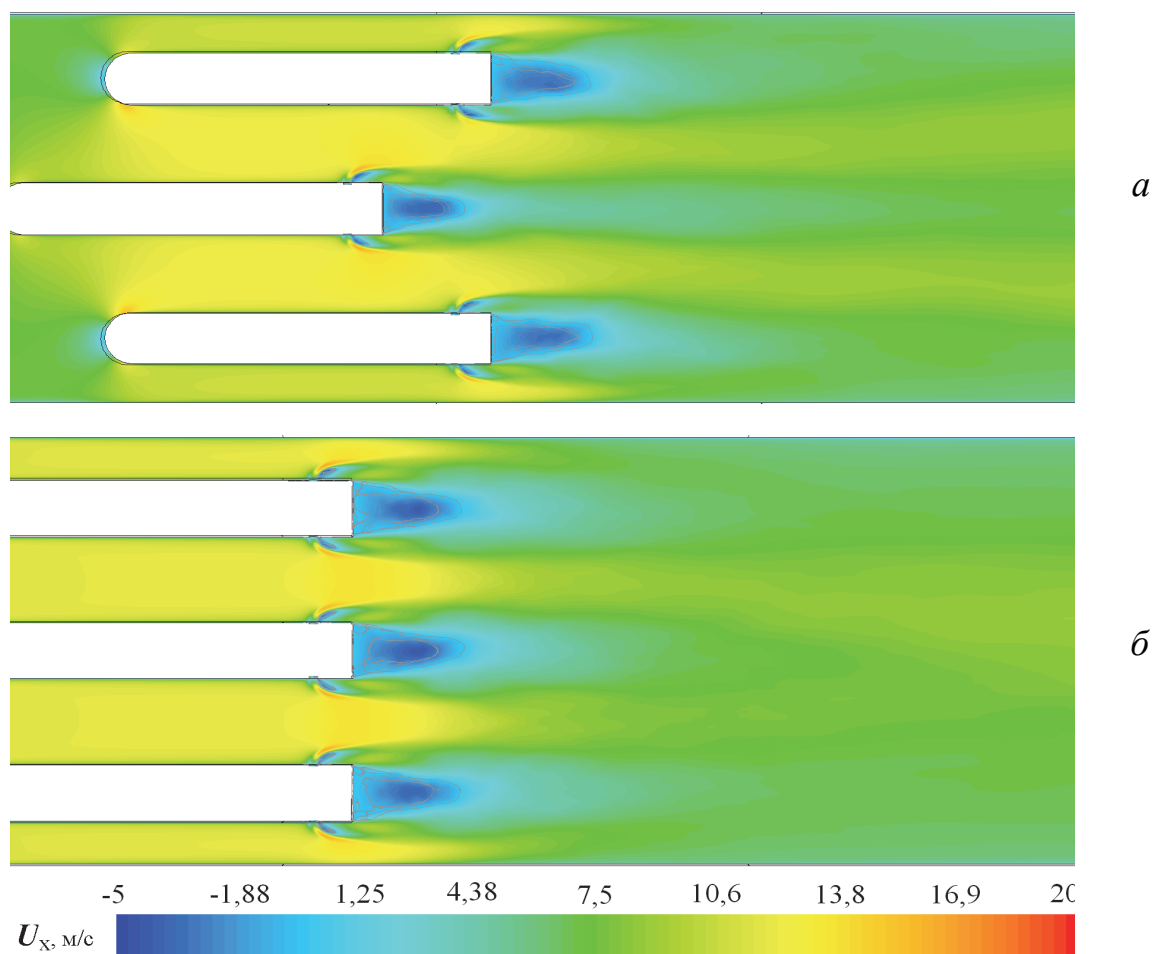


Рис. 3. Поле продольной составляющей вектора скорости в сечении XOY , проходящем через центры газоподающих отверстий, для подковообразной (а) и незешелонированной (б) решеток стабилизаторов

Из сопоставления данных, приведенных в таблицах, следует, что характер отклонения значений скорости \bar{U}_x в каналах эшелонированных решеток от их величин $\bar{U}_x^{не}$ при отсутствии эшелонирования имеет общие особенности для подковообразного и лестничного расположения стабилизаторов. А именно, в обеих ситуациях значения \bar{U}_x увеличиваются в

каналах, прилежащих к первому по потоку стабилизатору и уменьшаются в остальных каналах. При этом уровень максимального положительного отклонения Δ оказывается несколько более высоким в случае лестнично эшелонированной решетки. Большим в этой ситуации является и модуль максимально отрицательного отклонения Δ .

Согласно полученным данным для сопоставляемых решеток с лестничным и подковообразным расположением стабилизаторов наблюдаются также определенные отличия и в характеристиках зон обратных токов в закормовых областях стабилизаторов. Как видно из табл. 3, в случае подковообразной решетки протяженности зон обратных токов за всеми стабилизаторами превышают соответствующие значения для лестнично эшелонированной решетки. При этом в обеих ситуациях наибольшие длины данных зон отвечают центральному стабилизатору, для периферийных стабилизаторов они заметно ниже. Что же касается скоростей U_{\max} в зонах обратных токов, то в рассматриваемых случаях для центрального стабилизатора они равны между собой, а для периферийных стабилизаторов оказываются меньшими при подковообразном расположении стабилизаторов.

Рис. 4 иллюстрирует поля среднеквадратичных пульсаций скорости $\overline{U'}$ в сечении, проходящем через центры газоподающих отверстий. Из сопоставления данных на рис. 4 следует, что при лестничном и подковообразном расположении стабилизаторов, а также при установке их торцов в одной плоскости наибольшие значения пульсаций скорости $\overline{U'}$ наблюдаются за срывной кромкой каждого из стабилизаторов. Однако при этом поля пульсаций для рассматриваемых эшелонированной и незешелонированной решеток отличаются весьма существенно в качественном и количественном отношении. Так, в случае незешелонированной решетки картины полей пульсаций близки за всеми стабилизаторами, а при их эшелонированном расположении существенно различны для разных стабилизаторов. А именно, как в случае лестнично, так и подковообразно эшелонированной решетки, за первым по потоку стабилизатором (центральным для подковообразного расположения стабилизаторов и нижним периферийным для их лестничного расположения) уровни пульсаций скорости $\overline{U'}$ значительно выше, чем за остальными стабилизаторами. При этом данные уровни за указанным первым стабилизатором близки к таковым в условиях отсутствия эшелонирования, т.е. в целом турбулизация потока за решеткой стабилизаторов оказывается более существенной в случае расположения торцов стабилизаторов в одной плоскости.

Потери давления в горелочном устройстве с подковообразно эшелонированной решеткой оказываются весьма близкими к таковым при лестничном эшелонировании стабилизаторов и составляют 39,5 Па. Эти потери несколько меньше по величине по сравнению с ситуацией, отвечающей незешелонированной решетке. Здесь данные потери равны 43,0 Па. Последнее обусловлено, в частности, большей турбулизацией потока в закормовых областях стабилизаторов при расположении их торцов в одной плоскости.

3. Протяженность зон обратных токов $L_{от_i}$ для разных стабилизаторов пламени ($i = 1, 2, 3$) и максимальные по абсолютной величине значения скоростей в этих зонах U_{max} при $L_{см} = 60 \cdot 10^{-3}$ м для лестнично и подковообразно эшелонированных решеток

Параметр	Лестничная решетка			Подковообразная решетка ^б		
	Номер стабилизатора i			Номер стабилизатора τ		
	1	2	3	1	2	3
Протяженность $L_{от_i}, 10^{-3}$ м	49,4	59,1	46,8	55,7	65,6	55,7
Максимальная скорость $U_{max},$ м/с	4,43	3,7	3,9	3,17	3,7	3,17

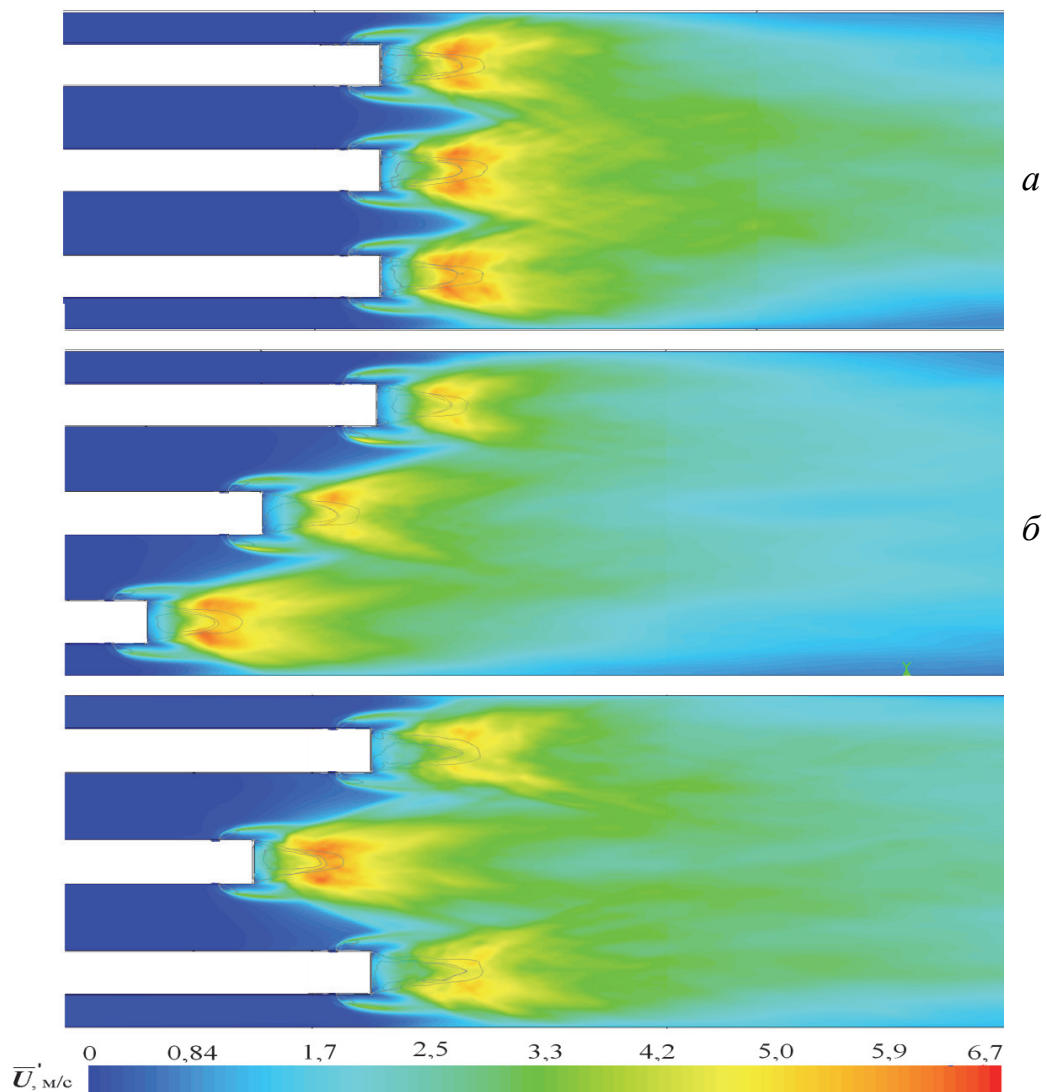


Рис. 4. Поле среднеквадратичных значений пульсаций скорости \bar{U}' в сечении, проходящем через центры газоподающих отверстий, для незешелонированной (а), лестнично (б) и подковообразно (в) эшелонированных решеток стабилизаторов

Выводы. Выявлены основные закономерности течения в горелках стабилизаторного типа в условиях подковообразного расположения стабилизаторов пламени. Выполнен сравнительный анализ характеристик течения для подковообразно и лестнично эшелонированных решеток стабилизаторов, а также для их незшелонированного расположения. Обнаружен эффект перераспределения расходов в каналах эшелонированных решеток по сравнению с ситуацией расположения торцов стабилизаторов в одной плоскости. Установлено также, что применение эшелонирования позволяет несколько снизить потери давления в горелочном устройстве.

Список литературы

1. Моделирование структуры течения изотермического потока в эшелонированной решетке плоских стабилизаторов пламени / Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Л.С. Бутовский [и др.] // Пром. теплотехника. – 2010. – №6. – С. 28–36.

2. Особенности смесеобразования при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени в микрофакельных горелочных устройствах / Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, В.Г. Прокопов [и др.] // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики: XXI междунар. конф., Ялта, 7 -11 июня 2011 г. – К., 2011. – С. 167–170.

3. Особенности течения топлива и окислителя при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени / Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Л.С. Бутовский [и др.] // Пром. теплотехника. – 2011. – №2. – С. 59–64.

4. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей / [Б.В. Раушенбах, С.А. Белый, И.В. Беспалов и др.] – М.: Машиностроение, 1964. – 526 с.

Наведено дані математичного моделювання течії палива та окисника в пальникових пристроях стабілізаторного типу при ешелонованому підковоподібному розташуванні стабілізаторів. Подано результати зіставлення структури потоку для підковоподібно і сходовоешелонованих решіток стабілізаторів. Розглянуто такі основні характеристики течії, як довжини зон зворотних токів у закормових областях стабілізаторів, перерозподіл витрати міжстабілізаторних каналах, середньоквадратичні пульсації швидкості та ін.

Ешелонування стабілізаторів полум'я, мікрофакельні пальники, підковоподібне розташування стабілізаторів, структура течії.

The data of mathematical modelling of flow of fuel and oxidizer in the stabilizer type burner at echeloned horseshoe-shaped arrangement of stabilizers are presented. The results of comparing of the flow structure for horseshoe and staircase echeloned arrays of stabilizers are submitted. The basic flow characteristics such as the length of the zones of reverse currents in astern areas of stabilizers, redistribution of costs in channels between the stabilizers, the rms velocity fluctuations et al are reviewed.

Echeloned flame stabilizers, micro-flame burners, horseshoe-shaped arrangement of stabilizers, flow structure.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ МОЛОЧНОГО ПОТОКА И ИНДИВИДУАЛЬНЫХ НАДОВ МОЛОКА

Ю.А. ЦОЙ, доктор технических наук, чл.-корр. РАН

В.В. КИРСАНОВ, доктор технических наук

Д.Ю. ПАВКИН, аспирант*

ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва

Проведен анализ существующих способов и устройств, рассмотрены направления исследований и дальнейшего совершенствования камерных датчиков-счетчиков, совмещающих функции потокомера и измерителя индивидуальных надоев молока для управления доильным аппаратом и молочным поголовьем в целом.

Погрешность измерения, счетчик-датчик молока, молоковоздушная смесь, пенообразование, скорость молокоотдачи.

Доильный аппарат – единственный механизм, взаимодействующий в процессе доения с живым организмом на основе обратной связи, строящейся, как правило, на измерении интенсивности молокоотдачи животного. Поэтому задача совершенствования счетчиков-датчиков молока является актуальной в связи с растущим уровнем управления молочно-товарной фермой как сложной биотехнической системой, а также с появлением автоматов доения и необходимости настройки режимов их работы, адекватных физиологическому состоянию животных [2].

К потокомерам предъявляют достаточно жесткие требования: относительная погрешность измерения не более 5 %; устройство не должно влиять на вакуумный режим и хорошо очищаться при циркуляционной промывке; съем информации должен обеспечиваться электронным способом с возможностью цифровой обработки [3,6].

Анализ устройств для измерения количества жидкости, газа и пара в других отраслях производства [1, 4] показал, что ни один из известных классов учетных приборов не пригоден для использования в поточно-технологической линии доения в связи с особыми условиями: наличие двухфазных молоковоздушных потоков и случайный характер их изменения; интенсивное многократное механическое воздействие на молоко, сопровождающееся обильным пенообразованием [5].

Цель исследований – обоснование параметров устройства для измерения скорости молочного потока и индивидуальных надоев молока.

©* Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Ю.А. Цой
©Ю.А. Цой, В.В. Кирсанов, Д.Ю. Павкин, 2015

Материалы и методика исследований. Классификация современных типов оборудования включает следующие виды устройств регистрации молока.

1. Пропорциональные счетчики отбирают определенную порцию от всего надоя в измерительную колбу с визуальным контролем уровня молока или путем передачи через электроды на цифровой дисплей.

2. Счетчики, определяющие порции постоянной массы или объема, с помощью наклонных желобов обеспечивают разделение потока на элементарные порции и суммируют их на механическом или электронном дисплее.

Счетчики постоянного объема с одиночной или составной измерительной камерой измеряют уровень молока поплавком или сенсорными электродами, связанными с клапаном или электрическим мотором, отображая надой на цифровом дисплее.

3. Счетчики, определяющие порции переменного веса отражают скорость молокоотдачи, а количество молока подсчитывается измерением времени вытекания, при этом используются ассиметричные наклонные желоба.

4. Измерители скорости молокоотдачи основаны на измерении гравитационных сил, возникающих при изменении направления потока молока. Расчеты надоя основываются на вращательном моменте.

5. Измерители текущего уровня определяют скорость потока в соответствии с уровнем молока в разделительной камере, а количество молока получают интегрированием скорости потока по времени.

В настоящее время на отечественных доильных установках в основном применяются лотковые датчики-счетчики весового типа, имеющие значительную массу и габариты, к тому же их нельзя использовать на линейных доильных установках с переносными доильными аппаратами, что сдерживает модернизацию последних.

Некоторые фирмы (Де Лаваль, ГЕА ФАРМ Технолоджиз и др.) предлагают использовать переносные (передвижные) доильные аппараты с инфракрасными, электродными и другими устройствами, которые имеют малые габариты и не создают препятствий измеряемому потоку, однако значительная стоимость и высокая погрешность измерений (до 10...15 %) ограничивают эффективность их применения. К тому же большинство из них не измеряют поток, а сигнализируют о его предельном состоянии (да-нет) с последующим отключением доильных стаканов.

В доильных залах для получения более точной информации об индивидуальных надоях молока могут использоваться порционные камерные молокомеры, которые имеют более сложную конструкцию, большую массу и габариты, что не является критичным для данных систем доения.

Поэтому задача создания усовершенствованного камерного датчика-счетчика предполагает его актуализацию в части применения как в переносных автоматизированных доильных аппаратах для доения коров в стойлах, так и в доильных залах. При этом счетчик-датчик должен иметь

небольшую массу и габариты, приемлемую погрешность измерения потока молока для управления доильным аппаратом, а также регистрировать и передавать сведения по индивидуальным надоям в АСУ фермы.

В результате проведенного анализа счетчиков-датчиков молока, за основу для последующих исследований был выбран проточно-камерный преобразователь, используемый в доильном аппарате «Дуовак-300» или «Нурлат» отечественного производства с дальнейшей модернизацией под ранее разработанный нами алгоритм измерения (рис. 1).

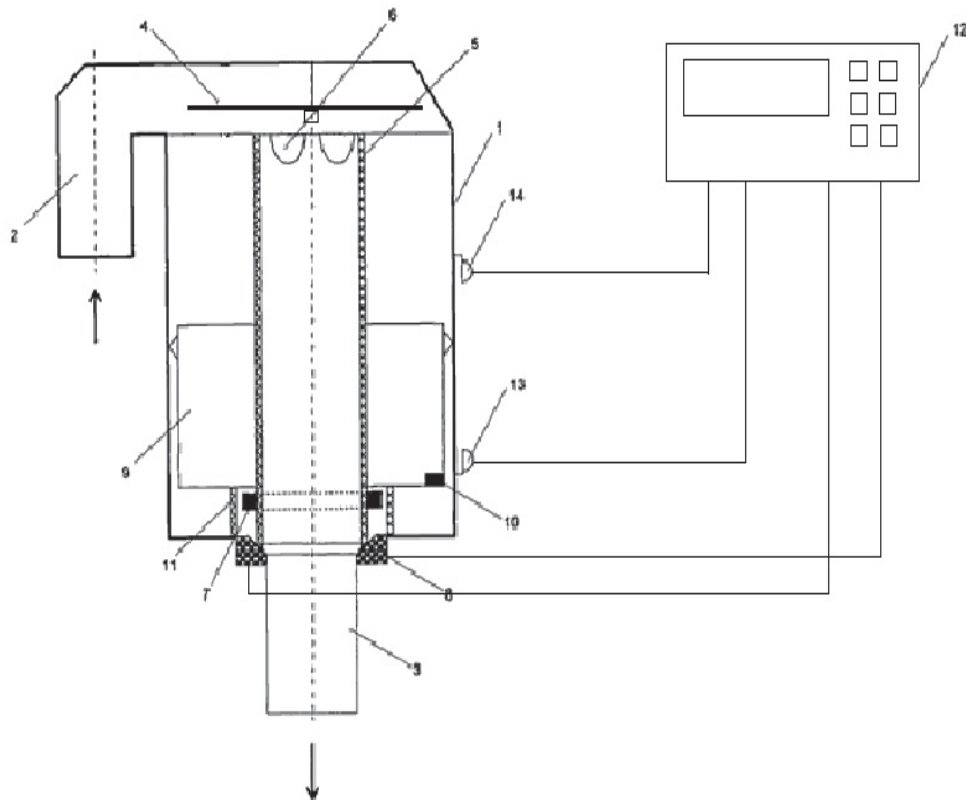


Рис.1. Камерный датчик-счетчик молока:

- 1 – корпус стакана; 2 – приемный патрубок; 3 – выходной патрубок;
 4 – успокоитель потока; 5 – полый шток-клапан; 6 – пазы-проходы;
 7 – кольцевой магнит; 8 – электромагнитная катушка; 9 – поплавок;
 10 – плоский магнит; 11 – направляющие стойки; 12 – контроллер доения;
 13 – нижний датчик Холла; 14 – верхний датчик Холла

Поэтому основными задачами являются:

– исследование и установление закономерностей динамики пульсирующих двухфазных молоковоздушных потоков в доильном аппарате и счетчике-датчике с разработкой методов, алгоритмов и технических средств их контроля, измерения и управления;

– разработка алгоритма управления процессом доения при изменяющихся текущих значениях величины молочного потока по отдельным четвертям вымени с разработкой алгоритма и мехатронных

средств его реализации на основе синхронизации физиологически безопасного выдаивания и отключения от вакуума отдельных долей вымени.



Рис. 2. Пенообразование при больших потоках

Результаты исследований. Были проведены лабораторные испытания для проверки погрешности измерений, которая по требованию ICAR не должна превышать 5 %. Измерения проводили на лабораторном стенде, включающем имитатор вымени, емкость, установленную на весы и фрагмент доильной установки с испытываемым устройством. Скорость молокоотдачи регулировали в пределах от 1 до 6 л/мин, определяя разность показаний весов в начале и конце и время опыта. Так же снимались показания по измерению количества молока с контроллера доения. Результаты исследований представлены на рис. 3. Из графика видно, что погрешность не превышает 5 %, при скорости потока 5 л/мин, что удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Так же счетчик был проверен на колебания вакуумного режима (рис.4), из требований ICAR следует, что счетчик не должен влиять на вакуумный режим, допустимые колебания ± 3 kPa. При помощи прибора pulsotest фирмы SAC были записаны колебания вакуума (максимальные и минимальные) за одну минуту, на разных скоростях молокоотдачи, которую регулировали дросселями разного диаметра, расхождения получились в пределах нормы.

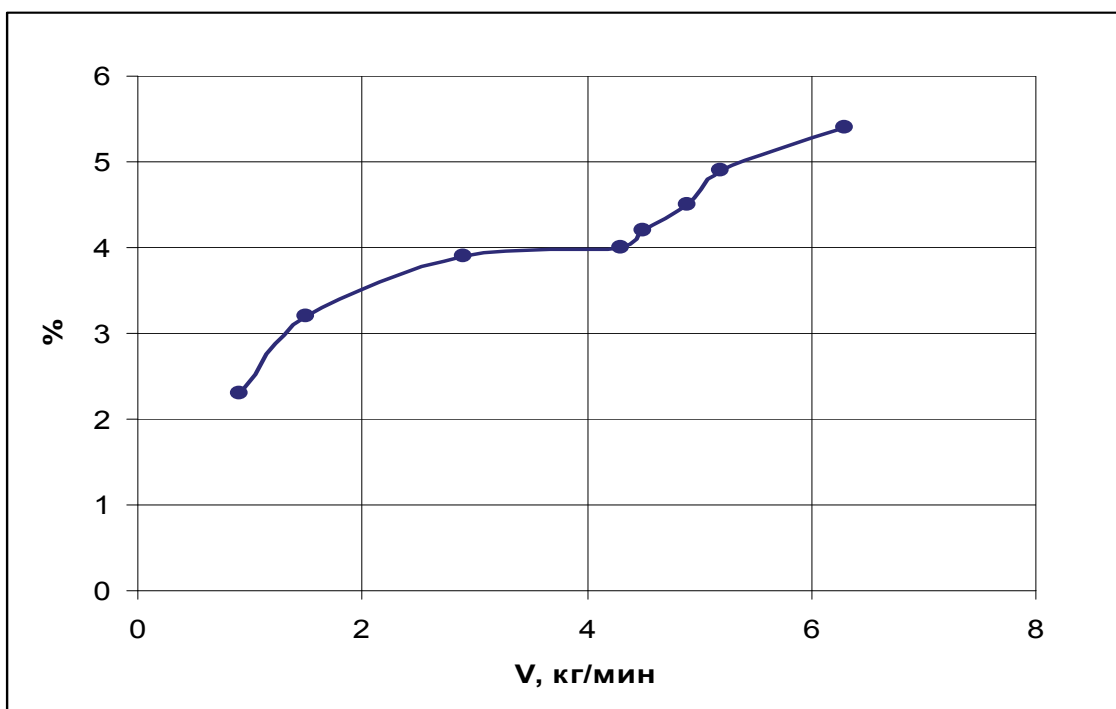


Рис.3. Зависимость погрешности от скорости молокоотдачи

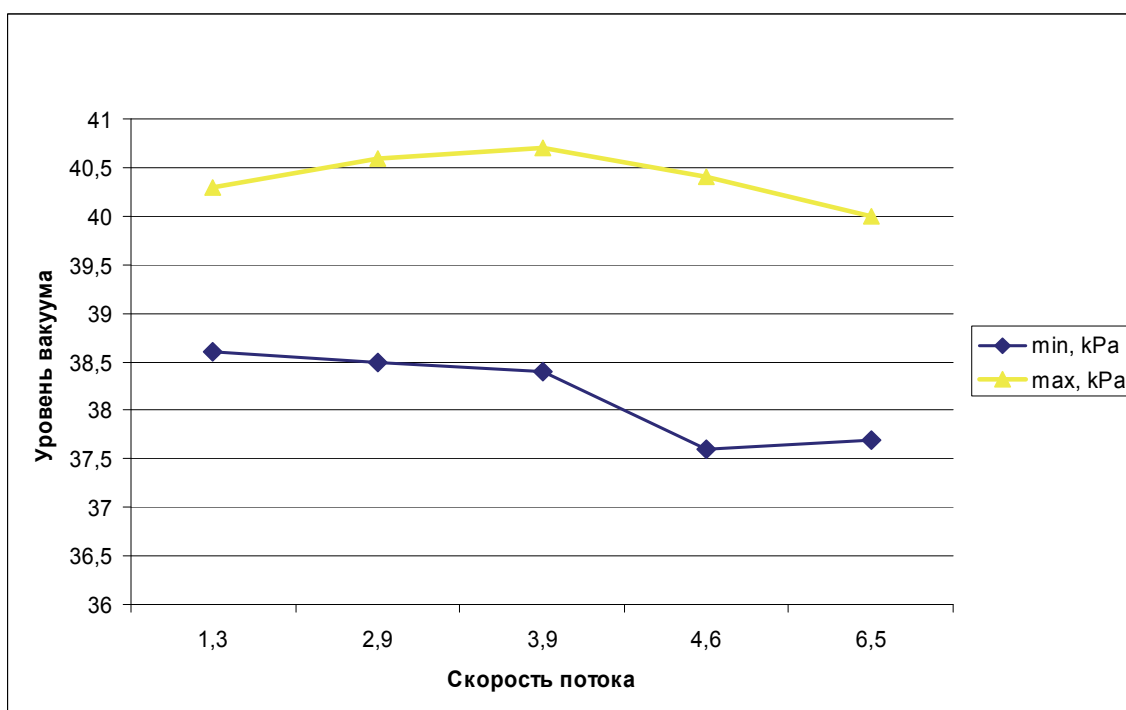


Рис.4. Изменение вакуумного режима в зависимости от скорости молокоотдачи

Выводы. Предлагаемый датчик-счетчик молока может использоваться для измерения потока и количества молока при управлении процессом доения на автоматизированных доильных установках как при доении в залах, так и на линейных установках в составе автоматизированных доильных аппаратов ввиду малых габаритов.

Список литературы

1. Залманзон Л.А. Микропроцессоры и управление потоками жидкости и газа / Л.А. Залманзон. – М.: Наука, 1984. – 320 с.
2. Кирсанов В.В. Методы и модели создания новых типов автоматизированных и роботизированных доильных аппаратов / В.В. Кирсанов, В.Н. Легеза, С.И. Щукин // Энергосбережение и энергообеспечение в сельском хозяйстве: тр. междунар. науч.-техн. конф. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. – Т.3. – С.8–15.
3. Кирсанов В.В. Устройство для очистки молокопроводов // В.В. Кирсанов, В.Ю. Матвеев // Сельский механизатор. – 2011. – №7. – С. 30–31.
4. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества: Справ / П.П. Кремлевский. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1989. – С.309–311.
5. Пат. 2192126 Российская Федерация. Способ измерения количества молока в потоке / Цой Ю.А., Зеленцов А.И., Кирсанов В.В., Челноков В.В. – №2000117148/13; заявл. 03.07.2000; опубл. 10.11.2002, Бюл. №31.
6. Пат. 2048075 Российская Федерация. Счетчик молока вакууммированной молочной линии /Кирсанов В.В., Зеленцов А.И., Цой Ю.А. – №92009435/15; заявл. 03.12.1992; опубл. 20.11.1995, Бюл. №32.

Проведено аналіз існуючих способів і пристроїв, розглянуто напрями досліджень і подальшого вдосконалення камерних датчиків-лічильників, які суміщають функції потокоміра й вимірювача індивідуальних надоїв молока для управління доїльним апаратом і молочним поголів'ям у цілому.

Похибка вимірювання, лічильник-датчик молока, молоко-повітряна суміш, піноутворення, швидкість молоковіддачі.

The analysis of existing methods and devices are considered areas of research and further development of the sensor chamber counters, combines the functions of Flow meter and individual milk yields for managing the milking machine and dairy herd as a whole.

Measurement error, the meter-gauge milk, milk-air mixture, foaming, the speed of milk.

ВИКОРИСТАННЯ САМООРГАНІЗАЦІЙНИХ КАРТ КОХОНЕНА ДЛЯ СИНТЕЗУ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ВОДООЧИСНИМ ОБЛАДНАННЯМ

В.М. ШТЕПА, кандидат технічних наук

Проаналізовано актуальність питання доповнення класичних архітектур систем керування самоорганізаційними картами Кохонена. Оцінено перспективність використання типового алгоритму самоорганізації для моделювання процесів електротехнічних систем на прикладі установок очищення стічних вод. Обґрунтовано межі технологічних параметрів якості водоочищення. Синтезовано та перевірено на адекватність відповідну нейронну мережу Кохонена. Отримано класи (кластери) параметрів якості водоочищення. Наведено перспективні напрями подальших досліджень при доповненні класичних архітектур систем керування самоорганізаційними картами Кохонена у випадку керування установками водоочищення.

Самоорганізаційна карта Кохонена, нейронна мережа, водоочищення, стічні води, система керування.

Під час синтезу систем керування багатопараметричними об'єктами часто виникають ситуації, коли у результаті зміни раніше досліджених технологічних характеристик створені математичні моделі втрачають адекватність. Тобто керуючий вплив розраховується невірно, що може викликати вихід із ладу вузлів систем [3]. Для усунення такого методичного недоліку пропонується використати карти самоорганізації (КСО) – Self-Organizing Maps (SOM). У них нейрони реалізуються у вузлах одновимірної або двовимірної решітки. Процес конкурентного навчання базується на вибіркового налаштуванні на різні вхідні образи (стимули), або класи вхідних образів. Позиції нейронів-переможців впорядковуються відносно інших. Модель Кохонена належить до класу алгоритмів векторного кодування. Вона забезпечує топологічне відображення, що оптимально розміщує фіксоване число векторів (слів коду) у вхідному просторі більш високої розмірності, забезпечуючи, таким чином, стиснення даних [1, 4, 5].

Системами спеціального призначення, для яких апробуємо КСО, стануть установки електротехнічного очищення стічних вод. Можливі забруднювачі у таких скидах – нафтопродукти, солі важких металів, феноли і біогенні речовини. Загалом у 2010 році зареєстровано, що у водні об'єкти України надійшло 460 т нафтопродуктів, 840 тис. т сульфідів, 760 тис. т хлоридів, 58 тис. т нітратів, що надзвичайно негативно вплинуло на навколишнє природне середовище.

Мета досліджень – обґрунтування та розробка методики застосування самоорганізаційних карт Кохонена для аналізу у режимі реального часу станів об'єктів керування на прикладі систем водоочищення.

Матеріали та методика досліджень. Алгоритм самоорганізації складається з таких етапів [5]:

1) ініціалізація синаптичних вагових коефіцієнтів у мережі (з використанням датчика випадкових чисел);

2) конкуренція (competition): для будь-якого вхідного образу і для всіх нейронів мережі обчислюється значення дискримінантної функції, що є основою конкуренції; нейрон з максимальним значенням дискримінантної функції стає переможцем;

3) кооперація: нейрон-переможець визначає просторове розташування сусідніх збуджених нейронів;

4) налаштування вагових коефіцієнтів (адаптація): значення дискримінантної функції збуджених нейронів збільшується для цього образу шляхом налаштування вагових коефіцієнтів. При адаптації відгук нейрона-переможця на близький вхідний образ збільшується.

Адаптація полягає в зміні вагового коефіцієнта w_j залежно від вхідного вектора x . Вона базується на постулаті навчання Хебба: правильні зв'язки підсилюються, а хибні слабшають.

Однак у випадку самоорганізації це правило незастосовне, оскільки невідомий цільовий вихід. Якщо зв'язки будуть модифікуватися тільки у бік посилення, то незабаром усі вони досягнуть насичення.

Модифікація правила Хебба полягає в використанні забування: $g(y_j)\omega_j$ (ω_j – синаптичні вагові коефіцієнти нейрона j , $g(y_j)$ – додатна скалярна функція від виходу y_j).

Єдина вимога до функції $g(y_j)$ – залишковий член у її розкладі за формулою Тейлора має дорівнювати нулю, тобто

$$g(y_j)|_{y_j=0} = 0 \quad (1)$$

Модифікація вагових коефіцієнтів обчислюється за формулою:

$$\Delta w_j = \eta y_j x - g(y_j) w_j, \quad (2)$$

де η – коефіцієнт швидкості навчання.

Для виконання умови (1) виберемо лінійну функцію $g(y_j) = \eta y_j$.

Тоді (2) матиме вигляд:

$$\Delta w_j = \eta y_j (x - w_j) = \eta h_{j,i(x)} (x - w_j) \quad (3)$$

Звідси при переході від моменту часу n до $n + 1$ одержимо

$$\omega_j(n + 1) = \omega_j(n) + \eta(n) h_{j,i(x)}(n) (x - \omega_j(n)), \quad j = \overline{1, l} \quad (4)$$

Таким чином модифікуються вагові коефіцієнти всіх нейронів з околу нейрона-переможця i . Значення вагового вектора w_i нейрона-переможця i

наближається до x . Вектори синаптичних вагових коефіцієнтів відслідковують розподіл вхідних векторів відповідно до вибору околу, забезпечуючи тим самим топологічне упорядкування карти ознак у вхідному просторі.

Причому, як відомо, для побудови інтелектуального блока на основі нейронних мереж необхідні набори експериментальних даних [1]. Однак у багатьох випадках, у тому числі при створенні систем керування установками очищення стічних вод, завдання ускладнюється (унеможлиблюється) тим, що енергоєфективні режими електротехнічних установок із використанням різних методів впливу на водні розчини, які відповідають реальним об'єктам, експериментально встановити фактично неможливо (висока вартість і вимоги до якості постановки та обладнання експериментів).

Результати досліджень. Приймемо, що стічні води промислового об'єкта не відповідають нормативним вимогам за такими показниками (має місце на багатьох підприємствах ВПК): біологічна потреба кисню (БПК), рН, концентрації завислих частинок та нітратів. Типово, для доведення скиду до граничнодопустимих концентрацій (ГДК) можна застосувати: біологічне очищення, електрокоагуляцію, електрокорекцію рН, розділення продуктів коагуляції та флотації (рис. 1) [2].

Кожен із наведених водоочисних агрегатів (див. рис. 1) базується на використанні електротехнологій, причому їх окреме застосування забезпечить доведення до нормативних вимог лише один (ряд) із показників якості. Тобто необхідною є сумісна робота таких елементів, отже вони утворюють один електротехнічний комплекс.

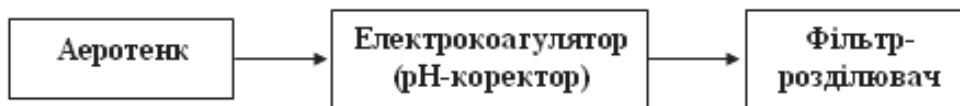


Рис. 1. Структура електротехнічного комплексу очищення стічних вод свинокомплексу (укрупнено)

Використовуючи дані експериментальних досліджень окремих модулів комбінованої установки водоочищення [3] (табл. 1), у пакеті прикладних математичних програм “Statistica” синтезували та адекватно налаштували (середньоквадратична похибка – 2,05 %) відповідну нейронну мережу Кохонена (рис. 2). Навчальна вибірка містила 680 наборів, здійснювалась перевірка на наявність “перенавчання”.

1. Експериментальні дослідження водоочищення

Параметр досліджень	БПК, г/м ³	рН	Концентрація завислих частинок, г/м ³	Концентрація нітратів, мг/л
Межі зміни	350 – 500	5 – 9,5	500 – 1000	45 – 80
Водоочисний модуль	Аеротенк	Електрокоректор	Електрокоагулятор	Фільтр

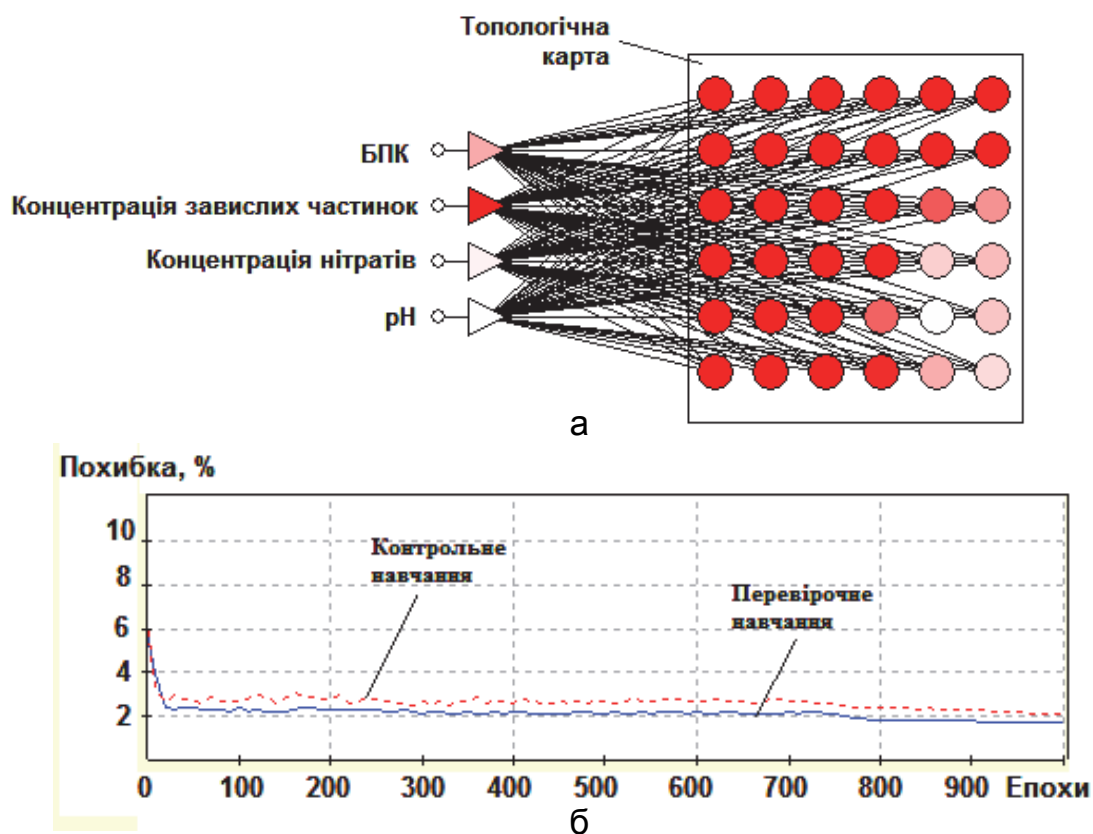


Рис. 2. Структурні та функціональні параметри мережі Кохонена:
а – архітектура мережі; б – навчання мережі

Використовуючи вирази алгоритму самоорганізації (1 – 9), одержали 4 чітко виражені класи (див. табл. 1).

Отримані результати підтверджують доцільність застосування при синтезі систем керування мережі Кохонена, ключова перевага якої над аналогами полягає у функціонуванні в режимі реального часу за можливості створення класифікаційної математичної моделі з кількома вхідними змінними «без учителя».

2. Розподіл класів параметрів якості очищення стічних вод, отриманих при застосуванні мережі Кохонена

Номер класу	БПК, г/м ³	рН	Концентрація завислих частинок, г/м ³	Концентрація нітратів, мг/л
Клас 1	345–349	6,5–6,7	550–561	46–55
Клас 2	398–403	6,7–7,1	558–701	73–78
Клас 3	430–447	6,9–7,8	865–904	59–64
Клас 4	453–481	7–8,3	873–910	52–73

Практичні завдання, які може вирішувати така нейронна мережа при синтезі та функціонуванні систем керування водоочисним обладнанням:

- адаптивне формування класів параметрів якості очищення стічних вод (наприклад, на основі прогностичних даних);

– адаптивне формування класів фінансових витрат на енергетичні ресурси виробництва (наприклад, виходячи із ринкових прогнозів).

Висновки. Самоорганізаційні мережі Кохонена доцільно та перспективно застосовувати при створенні інформаційно-управляючих систем керування спеціальним обладнанням, у тому числі при очищенні стічних вод, особливо опрацьовуючи ними дані прогностичних моделей, що створює можливість превентивної протидії негативним факторам природного та техногенного характеру.

Список літератури

1. Дебок Г. Анализ финансовых данных с помощью самоорганизующихся карт / Г. Дебок, Т. Кохонен. – М.: Альпина Паблишер, 2001. – 317 с.

2. Прогноз та оцінка доцільності застосування різних видів джерел енергії на тепличних комплексах / В.П. Лисенко, В.М. Решетюк, В.М. Штепа [та ін.] // Науковий вісник НУБіП України. – К., 2014. – Вип. 194, ч. 3. – С. 178–185.

3. Штепа В.М. Оцінка енергетичних характеристик процесів очищення стічних вод агропромислових підприємств електротехнічними комплексами / В.М. Штепа // Науковий вісник НУБіП України. – К., 2014. – Вип. 194, ч. 3. – С. 259–265.

4. T. Kohonen, Self-Organizing Maps (Third Extended Edition), New York, 2001, 501 pages. ISBN 3-540-67921-9

5. Lakhmi C. Jain; N.M. Martin Fusion of Neural Networks, Fuzzy Systems and Genetic Algorithms: Industrial Applications. — CRC Press, CRC Press LLC, 1998.

Проанализирована актуальность вопроса дополнения классических архитектур информационно-управляющих систем самоорганизационными картами Кохонена. Оценена перспективность использования типового алгоритма самоорганизации для моделирования процессов систем специального назначения на примере установок очистки сточных вод. Обоснованы границы технологических параметров качества водоочистки. Синтезирована и проверена на адекватность соответствующая нейронная сеть Кохонена. Получены классы (кластеры) параметров качества водоочистки. Приведены перспективные направления дальнейших исследований при дополнении классических архитектур информационно-управляющих систем самоорганизационными картами Кохонена в случае управления установками водоочистки.

Самоорганизационная карта Кохонена, нейронная сеть, водоочистка, сточные воды, система управления.

Analyzed urgency complement classical architecture information and control systems Kohonen self-organizing maps; assessed the prospects of using the default algorithm for modeling of self-organization processes of the special purpose, for example, sewage the treatment plants; reasonable limits of process parameters as water purification; synthesized and tested for adequacy appropriate Kohonen neural network; received classes (clusters) parameters as water purification; are promising directions for further research in classical architecture

complemented by information control systems Kohonen self-organizing maps in case management settings purification.

Kohonen self-organizing map, neural network, water purification, waste water, control system.

УДК 631.664

УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ИК И УФ ИЗЛУЧЕНИЕМ

А.В. КУЗЬМИЧЕВ, научный сотрудник

Д.А. ТИХОМИРОВ, кандидат технических наук

ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва

Разработан экспериментальный образец установки для обработки жидких пищевых продуктов на базе унифицированного модуля ИК и УФ излучателя. Модульный принцип конструкции позволяет расширить функциональные возможности установки. Показана область ее применения.

Унифицированный модуль, ИК и УФ излучение, пастеризация, жидкий пищевой продукт.

Среди методов обработки жидких пищевых продуктов следует отметить актинизацию, т.е. воздействие на продукт излучением в ультрафиолетовой и инфракрасной области спектра электромагнитных волн с целью получения заданного или ожидаемого эффекта[2].

Компания MEGA-UV (США) производит оборудование для ультрафиолетовой холодной пастеризации вина, осветленных соков, сахарных сиропов, растворов, напитков, рассолов и жидких фармацевтических сред. Принцип действия оборудования основан на уничтожении микроорганизмов ультрафиолетовым излучением.

Примером использования установки ультрафиолетового излучения (УФИ) является обработка молока для выпойки животных [1]. Другое направление применения УФИ, которое получило широкое распространение, – это обеззараживание воды. Однако во многих исследованиях установлено изменение органолептических свойств исходного продукта, обработанного УФ-излучением [7,8].

Известно, что при воздействии ИК излучения происходят изменения только в колебании или вращении атомных групп. Энергия, сообщенная квантами электромагнитного излучения веществу, изменяет энергетическое состояние его молекул и превращается в тепло, при этом сохраняются полезные микробиологические составляющие компоненты жидкого пищевого продукта, и уничтожается болезнетворная микрофлора. Наиболее

© А.В. КУЗЬМИЧЕВ, Д.А. ТИХОМИРОВ, 2015

complemented by information control systems Kohonen self-organizing maps in case management settings purification.

Kohonen self-organizing map, neural network, water purification, waste water, control system.

УДК 631.664

УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ИК И УФ ИЗЛУЧЕНИЕМ

А.В. КУЗЬМИЧЕВ, научный сотрудник

Д.А. ТИХОМИРОВ, кандидат технических наук

ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва

Разработан экспериментальный образец установки для обработки жидких пищевых продуктов на базе унифицированного модуля ИК и УФ излучателя. Модульный принцип конструкции позволяет расширить функциональные возможности установки. Показана область ее применения.

Унифицированный модуль, ИК и УФ излучение, пастеризация, жидкий пищевой продукт.

Среди методов обработки жидких пищевых продуктов следует отметить актинизацию, т.е. воздействие на продукт излучением в ультрафиолетовой и инфракрасной области спектра электромагнитных волн с целью получения заданного или ожидаемого эффекта[2].

Компания MEGA-UV (США) производит оборудование для ультрафиолетовой холодной пастеризации вина, осветленных соков, сахарных сиропов, растворов, напитков, рассолов и жидких фармацевтических сред. Принцип действия оборудования основан на уничтожении микроорганизмов ультрафиолетовым излучением.

Примером использования установки ультрафиолетового излучения (УФИ) является обработка молока для выпойки животных [1]. Другое направление применения УФИ, которое получило широкое распространение, – это обеззараживание воды. Однако во многих исследованиях установлено изменение органолептических свойств исходного продукта, обработанного УФ-излучением [7,8].

Известно, что при воздействии ИК излучения происходят изменения только в колебании или вращении атомных групп. Энергия, сообщенная квантами электромагнитного излучения веществу, изменяет энергетическое состояние его молекул и превращается в тепло, при этом сохраняются полезные микробиологические составляющие компоненты жидкого пищевого продукта, и уничтожается болезнетворная микрофлора. Наиболее

© А.В. КУЗЬМИЧЕВ, Д.А. ТИХОМИРОВ, 2015

эффективным и энергетически выгодным для обработки является средневолновая инфракрасная область спектра электромагнитных волн с длиной $\lambda_{\max} = 2,4\text{--}2,5$ мкм. При толщине обрабатываемого слоя жидкости примерно 1–5 мм до 80 % излучения трансформируется в тепловую энергию непосредственно в продукте, при этом сокращается время обработки.

Опыт применения показал высокую эффективность применения ИК излучения для обработки молока [4].

Способ обработки жидких пищевых продуктов ультрафиолетовым (УФ) излучением позволяет значительно снизить уровень лучистой энергии. Однако применение такого способа имеет некоторые ограничения, поскольку при поглощении квантов высокой энергии (в сравнении с ИК) в молекулярной структуре происходят более значительные изменения, выражающиеся в отрыве электронов от атомных групп, возможно расщепление молекул на атомы.

Цель исследований – разработка установки для обработки жидких пищевых продуктов ИК и УФ излучением.

Материалы и методика исследований. Анализ показывает, что способ и эффективность обработки жидкого пищевого продукта обусловлены следующими факторами:

1) характером воздействия: спектром энергетического воздействия, который может иметь локализацию в определенной узкой полосе, или варьирование диапазонов воздействия в УФ и ИК электромагнитной области; интенсивностью излучения; экспозицией;

2) физико-химическими и биологическими свойствами жидкости, подвергаемой обработке: показателем поглощения; предельно допустимыми значениями доз облучения $H_{\text{доп. min}} < H_{\text{доп. max}}$, определяющие принципиальную возможность осуществления способа, и характеризующие прежде всего УФ воздействие. $H_{\text{доп. min}}$ – определяет допустимую минимальную дозу УФ облучения, при которой возможно достижение необходимого технологического эффекта. $H_{\text{доп. max}}$ – определяет допустимую максимальную дозу УФ облучения, при превышении которой происходят существенные структурные изменения, нарушающие вкусовые и питательные свойства продукта [7, 8];

3) целью или комплексом задач, которые ставятся при обработке жидкости.

Основной целью является достижение бактериальной чистоты исходного продукта и при этом, одновременно, может ставиться задача получения структурных изменений в продукте, позволяющих достичь требуемого технологического эффекта.

Существует целый ряд технологий, где осуществляется совместная ИК и УФ обработка. Это воздействие может чередоваться во времени или происходить одновременно. Например, при пастеризации молока первоначально осуществляется промывка технологического оборудования водой, обработанной УФИ, затем происходит обработка продукта ИК излучением и на заключительном этапе – промывка оборудования водой или водными растворами с применением УФИ.

Для реализации различных технологий и условий обработки жидких пищевых продуктов требуется широкая номенклатура оборудования. Для каждого конкретного случая выбор оборудования достаточно сложная задача. Если качество при ИК обработке жидкого продукта характеризуется температурой на выходе, то для УФИ этот показатель зависит от сочетания различных факторов.

Исходя из этого, возникает необходимость в создании установок, отвечающим следующим требованиям:

- возможность встраивания в существующие технологические линии;
- отдельное или комбинированное воздействие ИК, УФ излучения на продукт;
- использование источников излучения различной мощности и спектра;
- использование многоступенчатого воздействия на продукт в технологическом процессе.

Результаты исследований. Подобную систему технологического оборудования можно построить на основе использования базовых элементов и модулей. Под базовыми элементами понимается взаимозаменяемый набор ИК и УФ излучателей, вставляемых в отдельный модуль. На основе этого можно построить универсальную техническую систему, удовлетворяющую практически любым технологическим задачам. Возможности такой системы можно оценить следующим образом. Если n – количество взаимозаменяемых излучателей, а k – количество модулей, то возможное число сочетаний и, соответственно, способов воздействия составит n^k . Такой подход позволяет реализовать широкие возможности по вариации параметров облучения с учетом биологических характеристик обрабатываемого продукта и технологических задач: спектр, энергия, мощность излучения, время воздействия.

Один из методов обработки жидкости излучением – осуществление его в тонком слое.

На рис.1 показан унифицированный модуль 1, включающий источник ИК излучения 2 мощностью до 4 кВт, температура излучающего тела в номинальном режиме составляет 650–800 °С. Конструкция модуля позволяет использовать также стандартные источники УФ излучения 3 [3,5,6].

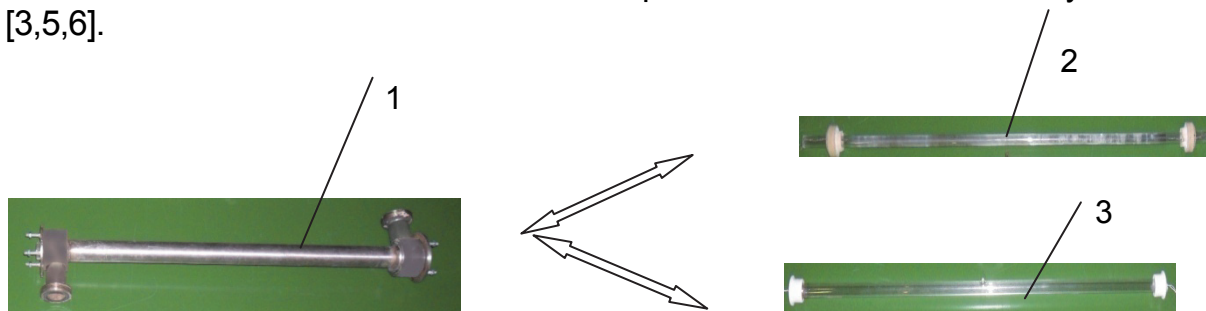


Рис.1. Унифицированный модуль излучателя:
1 – унифицированный модуль; 2 – ИК излучатель;
3 – УФ излучатель

Особенность конструкции позволяет создать систему, состоящую из нескольких модулей, соединенных между собой последовательно, параллельно, или комбинированно, что позволяет увеличивать время обработки продукта и производительность, кроме того, в отличие от существующих установок, возможно осуществление совместного воздействия ИК и УФ излучения. Допускается использование различных типов ламп, отличающихся по мощности, спектральным характеристикам в зависимости от задач и целей, которые ставятся при обработке жидкого продукта.

Воздействие УФ излучения (УФИ) на обрабатываемый продукт должно находиться в определенном диапазоне спектра (длин волн), строго дозироваться с целью создания среды с необходимыми характеристиками. Для каждого конкретного случая необходимо оптимизировать УФИ в определенном диапазоне $\lambda_{min} \dots \lambda_{max}$ для получения максимального энергетического выхода $\eta_{э} \rightarrow \eta_{э\ max} = Q_{эф}/Q_a$, где Q_a , $Q_{эф}$ – соответственно поглощенная и эффективно поглощенная энергия. При этом эффективность воздействия зависит от экспозиции:

$$H_{доп.min} < H = \int_0^t E(t) dt < H_{доп.max},$$

где E – интенсивность облучения, H_e – доза облучения.

Такая оптимизация зависит от целей, которые требуется получить в результате воздействия УФИ, например: максимальное увеличение витамина D_3 при обработке молока [3], снижение бактериальной обсемененности до допустимых значений, уничтожение болезнетворной микрофлоры и др. Технологический эффект от воздействия УФИ зависит от скорости фотохимической реакции и дозы облучения. Существуют подходы к оценке дозы излучения по среднему показателю $H_{\lambda cp}$ или по наихудшему, обеспечивающему заданную дозу $H_{\lambda min}$ в наиболее неблагоприятной зоне при условии $H_{\lambda min} < H_{\lambda}$.

Скорость фотохимической реакции в единице объема жидкости выражается уравнением:

$$dC/dt = k_{\lambda} E_{\lambda} C.$$

При этом соотношении средний показатель технологического эффекта запишется:

$$\ln(C_{cp}/C_0) = -(1 - e^{-\mu\delta}) (1/\mu\delta) k_{\lambda} E_{\lambda 0} T_{cp},$$

где C_{cp}/C_0 – технологический эффект (например, C_{D3cp}/C_0 – увеличение D_3 в обрабатываемом продукте; $C_{Бcp}/C_{Б0}$ – снижение бактериальной обсемененности и др.); k_{λ} – коэффициент пропорциональности (зависит от выбора системы единиц и характера протекающей реакции); C_0 – концентрация исходного вещества; $E_{\lambda 0}$ – поверхностная интенсивность облучения (индекс λ указывает на условие монохроматического УФ излучения).

Одной из актуальных задач является обработка жидкости УФИ с целью ее обеззараживания. Наибольшей бактерицидной эффективностью для различных групп микроорганизмов являются источники УФИ в диапазоне

волн 240–280 нм. Из экспериментальных зависимостей доля уничтоженных бактерий N/N_0 (где N – число уничтоженных бактерий, N_0 – общее число бактерий) от энергетической экспозиции H_{λ} , Дж·м⁻², определяется минимально допустимая норма дозы облучения $H_{\lambda min}$ в наиболее неблагоприятной зоне, т.е с допустимым значением N/N_0 для $H_{\lambda min}$ (N/N_0). Мощность источника излучения, обеспечивающего заданную чистоту продукта, и производительность определяют из выражений:

$$P = fH_{\lambda min} / e^{-\mu \delta} t_{cp} \eta = GH_{\lambda min} / e^{-\mu \delta} \delta \eta, \quad G = P \delta \eta e^{-\mu \delta} / H_{\lambda min},$$

где f – поверхность жидкости, воспринимающая УФИ, м²; t_{cp} – среднее время экспозиции, определяемая из условия w/G , с; G – расход жидкости, м³/с; $w \approx f\delta$ – объем модуля, который заполнен жидкостью, м³; $H_{\lambda min}$ – энергетическая экспозиция облученности для заданной степени обеззараживания, Дж/м²; η – коэффициент, учитывающий долю преобразованной энергии УФИ в полезную; P – стандартная мощность одного излучателя, Вт. Минимальная производительность одного модуля при предельных параметрах: дозы облучения $H_{\lambda min} = 40$ Дж/м², $\lambda = 254$ нм, $\mu \leq 10$ см⁻¹, мощности источника излучения $P = 80$ Вт, $\eta = 0.35$ и $\delta = 2 \cdot 10^{-3}$ м, составит $G = 0,7$ м³/час.

Применение УФ излучения для обработки значительного числа жидких пищевых продуктов с целью снижения бактериальной среды ограничено из-за небольшой проникающей способности. Например, для молока максимальный слой проникновения излучения δ_{max} составляет менее 0,1 мм. Скорректировать режим обработки с помощью увеличения дозы облучения приводит к биохимическим изменениям, таким как появление посторонних привкусов и запахов, и в этом случае продукт необходимо подвергать тепловой обработке [7, 8].

Для терморadiaционных пастеризаторов характерна высокая степень локализации энергии, что позволяет намного увеличить плотность энергетического воздействия, уменьшить время обработки и исключить несколько ступеней передачи и преобразования энергии. Особое преимущество состоит в том, что в таких устройствах обрабатывается сразу вся порция жидкости, поэтому нет локальных зон перегрева. На рис.2 показан общий вид пастеризатора для обработки жидкости в тонком слое, состоящего из трех унифицированных модулей с ИК излучателями [6] и традиционной схемой компоновки технологического оборудования, включающей приемный бак, рекуперативный теплообменник, насос и систему управления режимами тепловой обработки продукта, позволяющую поддерживать заданную температуру пастеризации в диапазоне 60–95 С. Основные технические параметры установки приведены ниже.

Применение рекуперативного теплообменника в технологической схеме пастеризатора позволяет значительно снизить мощность нагревательных элементов и расход энергии на нагрев [4]. Для подготовки и обеззараживания технологической воды с целью промывки оборудования в пастеризатор включен дополнительный унифицированный модуль УФИ. При этом энергия УФИ, необходимая для ее обеззараживания, значительно меньше, чем при тепловой обработке.

Техническая характеристика экспериментальной установки ИК обработки жидких пищевых продуктов

Производительность, л/ч	200...1000
Мощность нагревательного модуля, кВт	3
Количество нагревательных модулей	3
Тип нагревателя	ИК излучатель
Диапазон нагрева продукта, °С	До 96
Напряжение, В	380/220
Масса установки, кг	90



Рис.2. Установка для ИК пастеризации жидкости в тонком слое

Выводы. На основе унифицированного модуля, который позволяет использовать различные ИК и УФ излучатели, возможно создание установок для обработки жидкостей, реализующих широкие возможности вариации параметров процесса облучения: спектр, энергия, мощность излучения, время воздействия.

Модульный принцип конструкции установки позволяет расширить ее функциональные возможности: обрабатывать жидкие пищевые продукты с различными физико-химическими и биологическими свойствами; производительность может варьироваться в широком диапазоне в зависимости от количества модулей, входящих в его состав; простота конструкции позволяет встраивать в существующие технологические линии; возможность осуществления многоступенчатого воздействия на продукт.

Модульные установки могут найти применение как в небольших хозяйствах по переработке продукции, так и на крупных специализированных комплексах.

Список литературы

1. Инновационное оборудование для выпойки телят [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mikua.info/ru/companynews/248>.
2. Исламов М.Н. Применение электродиализа для биологической стабилизации виноградных вин и соков / М.Н. Исламов, Т.А. Исмаилов, З.Н. Кишковский // Современные проблемы науки и образования. – 2007. – №6. – С. 95–99.
3. Кузьмичев А.В. Эффективность комбинированной пастеризации молока УФ и ИК облучением / А.В. Кузьмичев, В.В. Малышев, Д.А. Тихомиров // Светотехника. – 2010. – №5. – С.6–9.
4. Опыт использования инфракрасного нагрева для пастеризации и обеззараживания молока, их сравнение с другими типами пастеризаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dairy.kharkov.com>.
5. Пат. 2396059 Российская Федерация. Модульная установка для обработки жидкости инфракрасным и ультрафиолетовым излучением тонкого слоя / Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Ламонов Н.Г.; опубл. 10.08.2010, Бюл. №22.
6. Пат. 2389397 Российская Федерация. Модульная установка для обработки жидкости инфракрасным излучением тонкого слоя / Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Ламонов Н.Г., Лямцов А.К.; опубл. 20.05.2010, Бюл. №14.
7. Промышленная технология, оборудование для очистки молока от микроорганизмов и обогащения витамином D / Б.С. Гаврюшенко, В.Д. Димитриева, А.Е. Ларин, Ю.П. Фомичев / Молочная индустрия – 2009: материалы междунар. науч.-практ. конф. – М.: АНО Молочная пром., 2009. – С. 88–89.
8. Matak K.E. Effects of Ultraviolet Irradiation on Chemical and Sensory Properties of Goat Milk / K.E. Matak, S.S. Sumner, S.E. Duncan, E. Hovingh, R.W. Woboro, C.R. Hackney, M.D. Pierson // J. Dairy Sci. – 2007. – Vol. 90. – P.3178–3186.

Розроблено експериментальний зразок установки для обробки рідких харчових продуктів на базі уніфікованого модуля ІЧ і УФ випромінювача. Модульний принцип конструкції дозволяє розширити функціональні можливості установки. Показана область її застосування.

Уніфікований модуль, ІЧ та УФ випромінювання, пастеризація, рідкий харчовий продукт.

The experimental sample of installation is developed for processing of liquid foodstuff on the basis of unified module IR and UV radiator. The modular principle for design allows expanding its functionality. The area of its application is shown.

The unified module, IR and UV radiation, pasteurization, liquid foodstuff.

ГАЗО – ВЕТРОЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

В.В.БИРЮК, доктор технических наук
Самарский государственный аэрокосмический университет
им. акад. С.П. Королева, г. Самара
Р.А.СЕРЕБРЯКОВ, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва
Ю.И. ЦЫБИЗОВ, доктор технических наук
Самарский научно-технический комплекс им. Н.Д. Кузнецова, г. Самара
Л.П. ШЕЛУДЬКО, кандидат технических наук
Самарский государственный технический университет, г. Самара

Изложен принцип работы и конструктивное решение вихревой газо-ветроэнергетической установки для выработки электроэнергии за счет использования отработанных газов от газоперекачивающих агрегатов и кинетической энергии ветра.

Газоперекачивающий агрегат, потери электроэнергии, газотурбинные энергоагрегаты, энергия ветра, вихревая ветроэнергетическая установка, отработавшие газы, комбинированный газо-ветроэлектроагрегат.

Для обеспечения собственных электрических нужд на каждой из сотен компрессорных станций (КС), оснащенных газоперекачивающими агрегатами (ГПА), затрачивается около 1,5 – 2,5 МВт электрической мощности. Электроснабжение КС производится от высоковольтных линий электропередачи (ЛЭП), удаленных от них на десятки и даже сотни километров. При этом потери при транспорте и трансформации централизованно поставляемой электроэнергии обычно составляют от 10 до 15 % от электроэнергии, потребляемой на собственные нужды КС, и достигают в стране значительных величин.

Для повышения надежности и возможности обеспечения аварийного электроснабжения на всех КС установлены специальные аварийно- резервные газотурбинные энергоагрегаты [3].

В условиях непрерывного роста цен на централизованно поставляемую электроэнергию и повышения себестоимости транспорта газа целесообразно стремиться к сокращению или даже к ликвидации зависимости КС от поставок внешней дорогой электроэнергии.

При этом одно из возможных направлений – оснащение газотурбинных КС высокоэкономичными газотурбинными или парогазовыми энергоустановками собственных нужд с отказом от низкоэкономичных аварийных энергоустановок. Но этот путь потребует больших капитальных затрат.

Второй путь – выработка электроэнергии для обеспечения собственных нужд КС с использованием энергии ветра. Но большинство из лопастных ветрогенераторов, установленных на башнях высотой 30–40 м с длиной лопаток ветроколеса 4–5 м и горизонтальной осью развивают мощность порядка 800–1000 кВт при средней скорости ветра в 5–7 м/с. Удельные капиталовложения в эти ветрогенераторные установки находятся на уровне 1200 – 1400 \$/кВт. Высокая стоимость и возможность получения требуемой мощности только в районах с высокими ветровыми нагрузками определяют их малую эффективность для обеспечения собственных нужд КС.

Значительно меньшую стоимость имеют вихревые ветроэнергетические установки [1, 2, 4–9]. В их гиперболическом корпусе (статоре) происходит образование закрученного воздушного потока, подобного природному смерчу, обладающего значительным запасом кинетической энергии.

В приосевой, центральной области вихря, сформированного в статоре, давление понижено относительно внешнего атмосферного давления. Благодаря этому в восходящий смерчеобразный столб всасывается дополнительная масса воздушного потока. В ветроколесе этой ветрогенераторной установки, имеющей вертикально расположенную ось, кинетическая энергия воздушного потока преобразуется в механическую работу, используемую для выработки электроэнергии.

Вихревые установки, при значительно меньшей скорости ветра (2–3 м/с) и одинаковых площадях, ометаемых ветроколесом, могут развивать примерно в пять раз большую мощность, чем лопастные ветроэнергетические установки с горизонтальной осью.

Из сбросных труб газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций ежесекундно выбрасываются в атмосферу миллионы килограмм отработавших газов со скоростями около 20 м/с и температурой до 400 °С.

Вместе с тем, кинетическая энергия уходящих газов ГПА сравнительно невелика и практически не позволяет напрямую использовать их значительный энергетический потенциал для выработки электроэнергии и обеспечения собственных нужд КС. При увеличении скорости кинетической энергии уходящих газов произойдет повышение сопротивления выхлопного тракта и снижение эффективного КПД газоперекачивающих агрегатов.

Цель исследований – создание энергетических установок для собственных нужд КС путем разработки новых типов комбинированных газо-ветроэлектроагрегатов вихревого типа с вертикальной осью и возможностью эффективного использования в них энергетического потенциала потоков отработанных газов ГПА и кинетической энергии набегающего потока ветра.

Материалы и методика исследований. В зависимости от расхода и температуры выхлопных газов газовых турбин ГПА электрическая мощность газо-ветроэнергетических установок даже в безветренную погоду может составлять от 80 до 200 кВт. Причем с увеличением

скорости ветра в них происходит повышение вихревого эффекта и, соответственно, мощности установки.

Результаты исследований. На рис.1 изображена принципиальная схема движения в вихревой газо-ветроэнергетической установке потоков отходящих газов ГПА и атмосферного воздуха. Установка этого типа снабжается входным завихрителем воздушного потока, вызывающим его вихревое движение с увеличением тангенциальной скорости, созданием разрежения в осевой части вихря и ускорением движения сбросного потока газов ГПА. Предварительно подкрученный поток газов, выходящий из выхлопной трубы ГПА, поступает в центральную часть цилиндрического статора установки и смешивается с воздушным потоком, ускоряясь вместе с ним.

За счет того, что в осевой части статора газо-ветроэнергетической установки развивается небольшое разрежение относительно атмосферного давления, в выходном тракте установки не будет происходить увеличения газодинамического сопротивления выхлопного тракта, снижения эффективного КПД газовой турбины или уменьшения мощности ГПА.

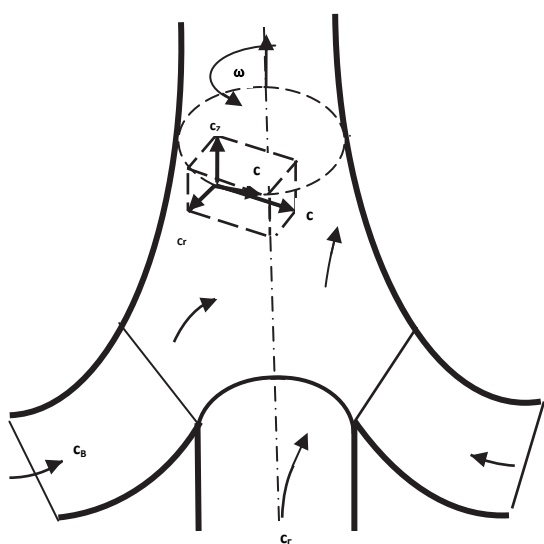


Рис.1.Схема газовой и воздушной турбины в гиперболическом статоре:
 $c_в, c_г$ – скорости воздушного и газового потоков на входе в газо-ветроустановку; c – абсолютная скорость газовой смеси у стенок статора; $c_z, c_r, c_φ$ – проекции скорости c на оси координат; $ω$ и z – тангенциальная и осевая скорости газовой смеси

Если на периферии гиперболического статора преобладает тангенциальная составляющая скорости закрученного газовой смеси, то в его центральной части происходит значительное увеличение осевой скорости потока.

Важно, что при увеличении скорости ветра в газо-ветроэнергетической установке возрастает вихревой эффект, сопровождающийся увеличением скорости и расхода газовой смеси и вызывающий повышение ее мощности.

Конструктивная схема газо-ветроэнергетической установки приведена на рис.2. Корпус установки имеет гиперболическую форму и установлен с воздушным зазором над выхлопной трубой ГПА.

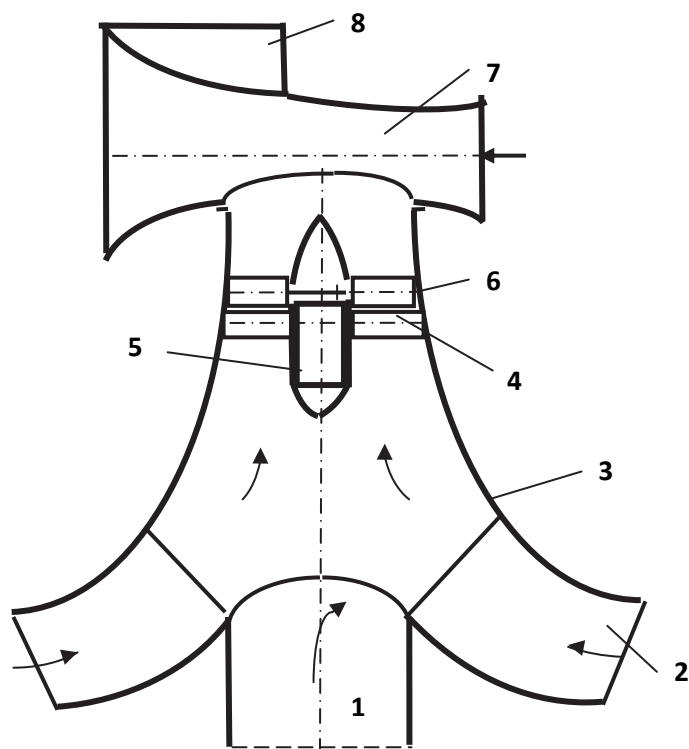


Рис.2
Принципиальная схема
газо-ветроэнергетической
установки ГПА:

- 1 – выхлопная труба ГПА;
- 2 – криволинейные воздушные каналы;
- 3 – гиперболический статор;
- 4 – направляющий аппарат;
- 5 – электрогенератор;
- 6 – лопатки осевой турбины;
- 7 – труба Вентури;
- 8 – флюгер

Воздушный ветровой поток с помощью криволинейных направляющих лопаток 2 завихривается с увеличением его тангенциальной скорости и поступает в гиперболический статор установки 3, где смешивается с предварительно закрученными газами, выходящими из выхлопной трубы 1 ГПА. Ускоренный в гиперболическом корпусе установки газозвушной поток с помощью направляющего аппарата 4 подается на лопатки осевой турбины 6, приводящей во вращение электрогенератор 5. Над выходной частью статора 3 на подшипниках установлена труба Вентури, создающая дополнительное разрежение в верхней части корпуса установки. С помощью направляющей пластины 8 (флюгера) труба Вентури устанавливается по направлению ветра и способствует увеличению мощности осевой турбины 6 и электрогенератора 5.

Выводы. Рассмотренный принцип и конструктивная схема газо-ветроэнергетической установки дают возможность достаточно эффективно использовать для выработки электроэнергии энергию отходящего потока газов ГПА и кинетическую энергию набегающего воздушного потока.

При этом для нее характерны следующие положительные качества:

- увеличение скорости и кинетической энергии газо-воздушного потока;
- увеличение массового расхода через осевую турбину;
- разбавление горячих выхлопных газов ГПА потоком воздуха, снижение температуры газо-воздушной смеси и уменьшения в них концентрации вредных веществ, что позволяет уменьшить высоту выхлопных труб ГПА;

- в результате применения трубы Вентури в выхлопной трубе ГПА создается небольшое разрежение, приводящее к уменьшению гидравлических потерь в выходном тракте и повышению эффективного КПД газовой турбины при той же мощности ГПА;
- за счет обеспечения автономного электроснабжения собственных нужд повысится надежность работы КС магистральных газопроводов – главный положительный фактор;
- в случае установки на ГПА газо-ветроэнергетических агрегатов и сохранения централизованного электроснабжения, существенно снизятся затраты на покупку электроэнергии у внешних поставщиков, или появится возможность сокращения потребления топливного газа аварийно-резервными газотурбинными энергоагрегатами.

Принципиально, газо-ветроэнергетическими установками такого типа может быть оборудована значительная часть ГПА КС, находящихся на больших расстояниях от электростанций и транзитных высоковольтных ЛЭП.

Список литературы

1. Бирюк В.В. Вихревые энергетические системы для транспорта / В.В. Бирюк. – Самара: Известия СПЦ РАН «Перспективы и направления развития транспортной системы, 2007. – С.167– 171.
2. Бирюк В.В. Вихревые энергетические установки / В.В. Бирюк, Р.А. Серебряков // Тр. 7-й Междунар. науч.–техн. конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». – М.: ВИЭСХ, 2010.– Ч.4. – С.248–252.
3. Конвертирование авиационных ГТД и газотурбинные установки наземного применения / [Гриценко Е.А., Данильченко В.П., Лукачев С.В. и др.]. – Самара: СПЦ РАН, 2004. – 266с.
4. Серебряков Р.А. Вихревая ветроэнергетическая установка / Р.А. Серебряков, В.В. Бирюк // Сб. «Ракетно-космическая техника». Серия XII. – Самара, 2000. – С. 48– 73.
5. Серебряков Р.А. Вихревая энергетика / Р.А. Серебряков // Науч.тр. ВИЭСХ.– 2000. – Т. 86.– С. 80– 92.
6. Серебряков Р.А. Вихревая энергетика / Р.А. Серебряков, А.Б. Калинин // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2001. – №11. – С.28– 29.
7. Серебряков Р.А. Некоторые вопросы теории вихревой энергетики / Р.А. Серебряков // Науч.–тр. ВИЭСХ. – 1999. – Т. 85.– С. 34–54.
8. Серебряков Р.А. Практическое применение вихревого эффекта / Р.А. Серебряков, В.В. Бирюк // Конверсия. – 1994. – №10. – С. 19–20.
9. Serebryakov R.A. Vortex effect – vortex technologies / R.A. Serebryakov , V.V. Biryuk // Research in Agriculture Electric Engineering.– 2013. – V.4, №4. – P. 74– 78.

Викладено принцип роботи і конструктивне рішення вихрової газо-вітроенергетичної установки для вироблення електроенергії за рахунок використання відпрацьованих газів від газоперекачувальних агрегатів і кінетичної енергії вітру.

Газоперекачувальний агрегат, втрати електроенергії, газотурбінні енергоагрегати, енергія вітру, вихрова вітро-

енергетична установка, відпрацьовані гази, комбінований газо-вітроелектроагрегат.

In this paper the principle and design solution and vortex gas-wind turbine to generate electricity through the use of the effluent gas the gas compressor units and the kinetic energy of the wind.

Gas compressor unit, loss of electricity, gas-turbine power units, wind energy, whirling wind power plant, exhaust, combined gas-electric generation wind.

УДК 621.311.001.57

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ СПОТВОРЕНЬ КРИВОЇ СИНУСОЇДАЛЬНОЇ НАПРУГИ ВИЩИМИ ГАРМОНІКАМИ

А.М.ГЛАДКИЙ, кандидат фізико-математичних наук

Розроблено автоматизовану систему моделювання багаточастотних детермінованих і випадкових коливань із кратними частотами. Система дозволяє визначати форму, огинаючу і фазу детермінованих коливань, їх залежності від спектрального складу і початкових фаз гармонік, статистичні характеристики випадкових сумішей з кратними середніми частотами.

Електроенергія, якість, гармоніки, спотворення напруги, модель.

Питання якості електричної енергії набуває все більш важливого значення у зв'язку з її дефіцитом та підвищенням вартості [8]. У той же час, при розподілі, перетворенні і споживанні електроенергії мають місце погіршення показників якості, у т.ч. спотворення форми синусоїдальних струмів і напруг.

Основними джерелами спотворень є випрямлячі, зварювальні апарати, індукційні печі, двигуни постійного струму, перетворювачі постійного струму у змінний, сучасні електроспоживачі з нелінійною вольт-амперною характеристикою (офісна техніка, енергозберігаючі джерела світла, регулюючі тиристорні пристрої і перетворювачі частоти) та ін. [1, 7, 9, 10]. Оцінки спотворень проводять відповідно до вимог діючого в Україні ГОСТ 13109-97 шляхом вимірювань і відповідних обчислень коефіцієнтів n -ої гармонійної складової напруги $K_{U(n)}$ та спотворення синусоїдальності кривої міжфазної (фазної) напруги K_U [6]. Ці коефіцієнти характеризують відносний та відносний сумарний рівні вищих гармонік відповідно і не дають уявлення про реальні спотворення синусоїдальності напруги. Дослідження спотворень аналітичними методами є досить громіздкими і не завжди можливими [2, 3].

© А.М.ГЛАДКИЙ, 2015

енергетична установка, відпрацьовані гази, комбінований газо-вітроелектроагрегат.

In this paper the principle and design solution and vortex gas-wind turbine to generate electricity through the use of the effluent gas the gas compressor units and the kinetic energy of the wind.

Gas compressor unit, loss of electricity, gas-turbine power units, wind energy, whirling wind power plant, exhaust, combined gas-electric generation wind.

УДК 621.311.001.57

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ СПОТВОРЕНЬ КРИВОЇ СИНУСОЇДАЛЬНОЇ НАПРУГИ ВИЩИМИ ГАРМОНІКАМИ

А.М.ГЛАДКИЙ, кандидат фізико-математичних наук

Розроблено автоматизовану систему моделювання багаточастотних детермінованих і випадкових коливань із кратними частотами. Система дозволяє визначати форму, огинаючу і фазу детермінованих коливань, їх залежності від спектрального складу і початкових фаз гармонік, статистичні характеристики випадкових сумішей з кратними середніми частотами.

Електроенергія, якість, гармоніки, спотворення напруги, модель.

Питання якості електричної енергії набуває все більш важливого значення у зв'язку з її дефіцитом та підвищенням вартості [8]. У той же час, при розподілі, перетворенні і споживанні електроенергії мають місце погіршення показників якості, у т.ч. спотворення форми синусоїдальних струмів і напруг.

Основними джерелами спотворень є випрямлячі, зварювальні апарати, індукційні печі, двигуни постійного струму, перетворювачі постійного струму у змінний, сучасні електроспоживачі з нелінійною вольт-амперною характеристикою (офісна техніка, енергозберігаючі джерела світла, регулюючі тиристорні пристрої і перетворювачі частоти) та ін. [1, 7, 9, 10]. Оцінки спотворень проводять відповідно до вимог діючого в Україні ГОСТ 13109-97 шляхом вимірювань і відповідних обчислень коефіцієнтів n -ої гармонійної складової напруги $K_{U(n)}$ та спотворення синусоїдальності кривої міжфазної (фазної) напруги K_U [6]. Ці коефіцієнти характеризують відносний та відносний сумарний рівні вищих гармонік відповідно і не дають уявлення про реальні спотворення синусоїдальності напруги. Дослідження спотворень аналітичними методами є досить громіздкими і не завжди можливими [2, 3].

© А.М.ГЛАДКИЙ, 2015

Мета досліджень – розробка програмної системи дослідження характеристик детермінованих і випадкових коливань з кратними частотами.

Матеріали та методика досліджень. Розроблена система призначена для автоматизації досліджень функціональних залежностей (заданих аналітично або таблично) шляхом побудови і виведення на екран і (або) принтер графіків і (або) таблиць. Спілкування з користувачем здійснюється за допомогою меню-орієнтованого інтерфейсу, який має ієрархічну структуру. Система реалізована за допомогою інструментального комплексу BC 2.0 фірми BORLAND.

Результати досліджень. Формування детермінованих коливань із кратними частотами здійснюється ідеалізованим генератором гармонік шляхом подання в чисельному вигляді функцій:

$$\begin{aligned} & \sin(\omega t + \varphi_1); \\ & K_2 \sin[2(\omega t + \varphi_1) + \varphi_2]; \\ & K_n \sin[n(\omega t + \varphi_1) + \varphi_n]; \\ & K_N \sin[N(\omega t + \varphi_1) + \varphi_N], \end{aligned} \tag{1}$$

де t – час; ω – частота; $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n, \dots, \varphi_N$ – початкова фаза гармоніки; $n = 2, 3, \dots$ – номер гармоніки; N – кількість гармонік; $K_n = U_n/U_1$ – коефіцієнт гармоніки; U_1, U_n – амплітуда першої та n -ї гармоніки відповідно.

У часі t коливання подається 181 рівновіддаленим відліком за формулами (1) в інтервалі, рівному періоду коливань першої гармоніки. Кути $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n, \dots, \varphi_N$ задаються з кроком 10° від 0° до 360° . Кількість гармонік N і значення коефіцієнтів $K_2, K_3, \dots, K_n, \dots, K_N$ визначаються умовами експерименту.

Моделювання складного багаточастотного коливання, що містить кілька гармонік, здійснюється шляхом додавання значень цих гармонік у кожній відліковій точці періоду відповідно до одного з виразів:

$$u(t) = \sin(\omega t + \varphi_1) + K_n \sin[n(\omega t + \varphi_1) + \varphi_n]; \tag{2}$$

$$u(t) = \sin(\omega t + \varphi_1) + \sum_{n=2}^N K_n \sin[n(\omega t + \varphi_1) + \varphi_n]. \tag{3}$$

Форма коливання визначається шляхом розрахунку залежності $u(t)$ для заданих кількості N , розподілів коефіцієнтів K_n і початкових фаз φ_n гармонік (рис. 1).

Система забезпечує обчислення огибаючої U коливань (2), (3). Обчислення «класичної» огибаючої проводиться лише для вузькосмугових коливань, коли осциляції амплітуди і фази коливання відбуваються набагато повільніше, ніж коливання основної частоти [4].

Надширокосмугове коливання (2) відрізняється тим, що осциляції $u(t)$ можуть відбуватися протягом періоду основного коливання, а їх характер визначається складом і значеннями K_n і φ_n гармонік. Більше того, за певних значень K_n і φ_n , на кривій $u(t)$ виникають додаткові максимуми і залежність між амплітудою і фазою коливання стає неоднозначною (див. рис. 1, г). Тому розглядаються коливання $u(t)$ із одним максимумом. Умова існування лише одного максимуму на кривій $u(t)$ полягає в обмеженні коефіцієнта K_n значеннями $0 \leq K_n \leq n^{-2}$ [2, 3].

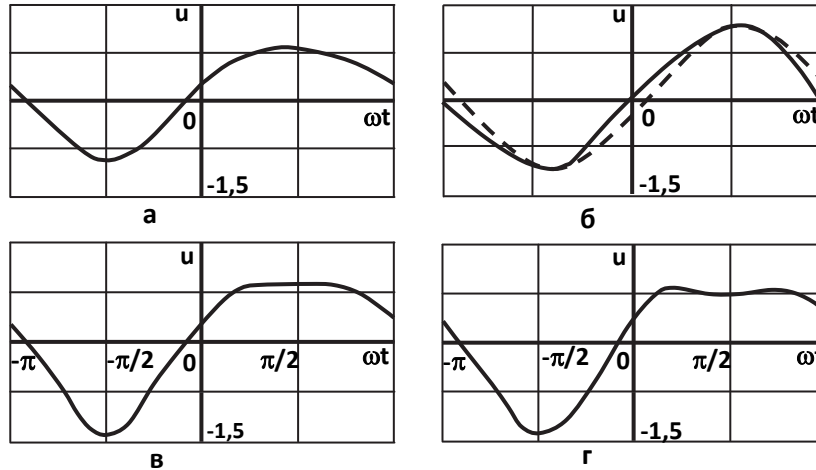


Рис. 1. Форма коливань (2) – неперервна лінія, і (7) – пунктирна лінія за різних рівнів другої гармоніки та її початкової фази:

а – $K_2=0,2$, $\varphi_2=\pi/2$; б – $K_2=0,2$, $\varphi_2 = 120^\circ$, $\varphi = 105^\circ$;
в – $K_2=0,25$, $\varphi_2=\pi/2$; г – $K_2=0,35$, $\varphi_2=\pi/2$

Із необхідної і достатньої умов існування максимуму диференційованої функції

$$\frac{du(t)}{dt} = 0; \quad \frac{d^2u(t)}{dt^2} > 0 \quad (4)$$

знайдемо:

$$\begin{cases} U = u(t_m), & \text{для } t = t_m, 0 \leq t_m \leq 2\pi / \omega; \\ U \geq u(t), & \text{для } t \neq t_m, 0 \leq t \leq 2\pi / \omega. \end{cases} \quad (5)$$

Підставляючи $\varphi = \omega t_m + \varphi_1$ у (2), із (4) отримаємо:

$$\begin{cases} \cos \varphi + nK_n \cos(n\varphi + \varphi_n) = 0; \\ \sin \varphi + n^2K_n \sin(n\varphi + \varphi_n) > 0. \end{cases} \quad (6)$$

Огинаюча багаточастотного коливання U , визначена умовами (4), (5) задовольняє всім вимогам до огинаючої [4]. За фізичним змістом вона є істинним амплітудним значенням коливання, рівним вимірюваному ідеалізованим надширокосмуговим вимірювачем. Фаза φ , визначена умовами (6), за якої (2) досягає максимального значення $u(\varphi) = U$, приймається за фазу багаточастотного коливання. Фаза огинаючої, вимірювана ідеалізованим вимірювачем без похибок, буде рівна φ .

Використовуючи U і φ , негармонічну надширокосмугову суміш (2) можна подати у вигляді "огинаючої" її гармонійного коливання:

$$u_0(t) = U \cos(\omega t - \varphi) \approx u(t). \quad (7)$$

Коливання (2) і (7) в одній і тій же точці періоду $t = t_m$ досягають амплітудного значення і мають у цій точці спільні дотичні і рівні значення. В інших точках періоду їх значення можуть відрізнятися (див. рис. 1, б). Тобто, огинаюча і фаза суміші (2) і коливання (7) збігаються.

Враховуючи викладене, в моделі значення огинаючої визначається шляхом знаходження максимального значення U коливання $u(t)$ за період, яке задовольняє умови (5) і фази φ цього максимального значення, яке задовольняє умови (6).

Результати моделювання подаються у вигляді таблиць значень огинаючої $U(K_n, \varphi_n)$ і фази $\Phi(K_n, \varphi_n)$ або графіків цих функцій залежно від заданого режиму роботи системи (рис. 2). Таблиці значень функцій огинаючої $U(K_n, \varphi_n)$ і фази $\Phi(K_n, \varphi_n)$ складаються з масивів значень для кожного значення φ_n , яке задається в діапазоні від 0 до 360° з кроком 5°, і всіх заданих значень K_n .

Випадкові процеси моделюються функціями від випадкових величин:

$$\begin{aligned} &K_1(t)\sin[\omega t + \varphi_1(t)]; \\ &K_2(t)\sin[2(\omega t + \varphi_1) + \varphi_2(t)]; \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned} &K_n(t)\sin[n(\omega t + \varphi_1) + \varphi_n(t)]; \\ &K_N(t)\sin[N(\omega t + \varphi_1) + \varphi_N(t)], \end{aligned}$$

де випадкові величини $K_1(t), K_2(t), \dots, K_n(t), \dots, K_N(t)$ – розподілені за нормальним (гаусовським законом); $\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_n(t), \dots, \varphi_N(t)$ – за рівноймовірним законом.

Випадкові величини з рівноймовірною густиною розподілу формуються генератором випадкових чисел – функцією Random, яка генерує випадкове число в інтервалі $[0, 1]$ (1 – задана межа інтервалу). N рівномірно розподілених випадкових величин генеруються при N -кратному зверненні до цієї функції.

Випадкові величини, розподілені за нормальним законом, формуються процедурою Gauss. Процедура Gauss відповідно до центральної граничної теореми використовує суму 12 рівномірно розподілених випадкових чисел, сформованих генератором Random в інтервалі $[0, 1]$. Результат процедури визначається заданими стандартним відхиленням σ і математичним очікуванням m нормального розподілу. Випадкова величина v при виконанні процедури обчислюється за формулою:

$$v = (a - 6.0)\sigma + m,$$

де a – сума 12 рівномірно розподілених чисел в інтервалі $[0, 1]$; σ – задане стандартне відхилення; m – задане математичне очікування. Реалізація N випадкових величин отримується шляхом N -кратного звернення до процедури Gauss.

Якщо амплітуди і фази гармонік залишаються стаціонарними стосовно своїх законів розподілу, їх зміни в часі відбуваються зі швидкістю, яка не перевищує швидкість зміни $\cos \omega t$, а реалізації амплітуд гармонік обмежені значеннями $\sum_{n=2}^N K_n < \frac{1}{N^2}$, то можна ввести визначення огинаючої і фази

реалізації процесу $u(t) = \sum_{n=1}^N u_n(t)$ у вигляді максимального значення суміші за період основної гармоніки і фази максимального значення суміші згідно з умовою (4) та умовою (6), записаною у вигляді:

$$\begin{cases} \sum_{n=1}^N nK_n \cos(n\varphi + \varphi_n) = 0; \\ \sum_{n=1}^N n^2 K_n \cos(n\varphi + \varphi_n) > 0. \end{cases} \quad (9)$$

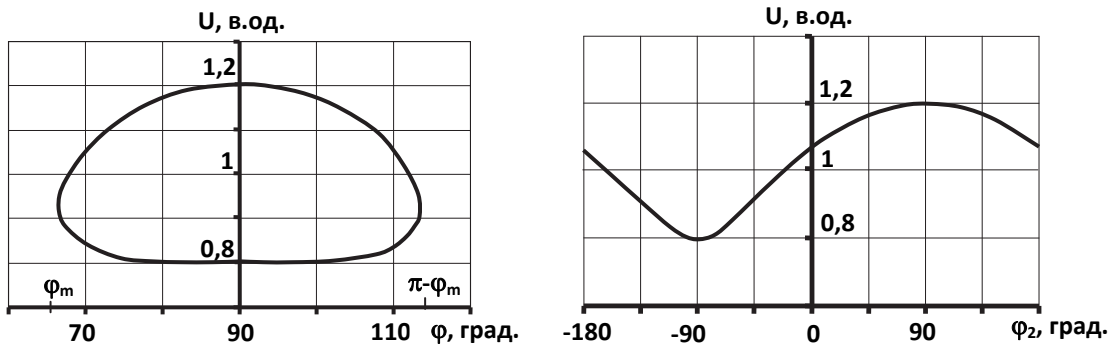


Рис. 2. Залежність огинаючої U від фази φ і початкової фази φ_2 . $K_2 = 0,2$

Дослідження статистичних властивостей процесу, а також його огинаючої і фази (функції розподілу, математичного очікування, стандартного відхилення та ін.) проводиться за допомогою процедури Tab1, реалізованої аналогічно [5]. Процедура Tab1 обробляє масив з певної кількості елементів, що визначається кількістю реалізацій випадкового процесу, яка вибирається в межах $10^3 - 10^4$.

Отримані при моделюванні залежності форми коливання і огинаючої U від рівня другої гармоніки та її початкової фази, форма коливання (7) та залежності огинаючої U від фази φ та початкової фази φ_2 наведено на рис.1 і 2.

Висновки. Розроблена система дозволяє досліджувати форму, огинаючу і фазу багаточастотних детермінованих коливань із кратними частотами, їх залежності від спектрального складу і початкових фаз гармонік, складати таблиці значень функцій огинаючої $U(K_n, \varphi_n)$ і фази $\Phi(K_n, \varphi_n)$, визначати статистичні характеристики випадкових сумішей з кратними середніми частотами. Система може використовуватися для оцінки спотворень синусоїдальної напруги вищими гармоніками, зокрема їх максимальних і допустимих значень, розробки методів мінімізації цих спотворень, визначення електромагнітної сумісності, обчислення похибок вимірювань амплітуди, частоти і різниці фаз від вищих гармонік та ін.

Список літератури

1. Влияние компьютерных нагрузок на работу электрических сетей зданий / [О. Григорьев, В. Петухов, В. Соколов, И. Красилов] // Мир связи. – 2002. – №12. – С. 24 – 36.
2. Гладкий А.М. Распределение вероятностей смеси случайных сигналов с кратными частотами / А. М. Гладкий // Радиоэлектроника. – 2000. – Т. 43, № 7 – 8. – С. 75 – 78.

3.Гладкий А.М. Статистические характеристики искажений детерминированного сигнала высшими гармониками / А.М. Гладкий, А.В. Желизко // Радиоэлектроника. – 1995. – Т. 38, № 3 – 4. – С.58 – 62.

4.Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский. – М.: Дрофа, 2006. – 720 с.

5.Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. Т.2: Получисленные алгоритмы / Д. Кнут. – М.: Мир, 1977. – 724 с.

6.Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Правила устройства электроустановок: ГОСТ 13109-97. – [Чинний від 1999 – 01 – 01]. – К.: Госстандарт Украины, 1999. – 57с.

7.Ружовіч А. Вміст гармонік і коефіцієнт потужності – параметри якості енергії в уставах живлення люмінесцентних ламп з електромагнітними та електронними стабілізаторами / А. Ружовіч // Електроінформ. – 2003. – №2. – С. 10 – 11.

8.Савин К.Н. Управление качеством электроэнергии через стандарт ISO 50001 / К.Н. Савин, Г.Л. Попова, В.А. Сыщиков // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9–2. – С. 410 – 413.

9.Цадлер Е. Вплив сучасних освітлювальних устав на електроенергетичну мережу / Е. Цадлер, Е. Качмарек // Електроінформ. – 2003. – №1. – С. 28 – 29.

10.Evaluating Harmonic Concerns With Distributed Loads, Mark McGranaghan, Electrotek Concepts, Knoxville, Tenn., Nov. 2001.

Разработана автоматизированная система моделирования многочастотных детерминированных и случайных колебаний с кратными частотами. Система позволяет определять форму, огибающую и фазу детерминированных колебаний, их зависимости от спектрального состава и начальных фаз гармоник, статистические характеристики случайных смесей с кратными средними частотами.

Электроэнергия, качество, гармоники, искажения напряжения, модель.

Developed automated system for simulation of multi-frequency deterministic and random oscillations with multiple frequencies. The system allows to determine the form, envelope and phase of the deterministic oscillations, their dependence on the spectral composition and the initial phases of the harmonics, the statistical characteristics of random mixtures with multiples of the average frequency.

Electric power, quality, harmonics, voltage distortion, model.

ПИРОЛИЗ ИЛОВЫХ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В ВОДЯНОМ ПАРЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

**Ю.А. КОЖЕВНИКОВ, А.Г. ЧИЖИКОВ, кандидаты технических наук
С.В. ПАШКИН, доктор физико-математических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва**

Приведены результаты экспериментальных исследований пиролиза иловых осадков сточных вод городских очистных сооружений в водяном паре высокого давления. Установлено, что в составе образующихся газов присутствуют только горючие компоненты при отсутствии двуокси углерода и окислов азота. Относительный состав горючих газов в значительной мере зависит от условий проведения экспериментов, а их общее количество соответствует убыли сухой массы, получаемой в результате длительной сушки при температуре 110 °С исходного илового осадка. Полученная после пиролиза сухая масса представляет собой гигроскопичный порошок темного цвета без запаха, образующий устойчивую взвесь в воде, которая после пропускания через фильтровальную бумагу практически не оставляет следов на фильтре и не подвергается заметному расслоению.

Иловые осадки, пиролиз, установка, эксперименты, водяной пар, давление, температура, горючие газы.

Иловые осадки сточных вод образуются в большом количестве при работе городских очистных сооружений. Отстойники с иловыми осадками могут занимать площадь в несколько сотен квадратных метров, являясь источниками вредных испарений с весьма неприятным запахом и ухудшая экологическую обстановку на прилегающих территориях.

Высокая (более 70 %) влажность даже обезвоженного осадка не позволяет сжигать его с применением стандартных технологий, поэтому приходится либо увозить на полигоны субстрат, состоящий на 2/3 из воды для естественного высушивания, либо испарять остаточную воду, что требует специального оборудования и больших энергетических затрат. Как правило, осадки вывозят для захоронения на полигоны или сушат для последующего сжигания в котельных. В обоих случаях образуются продукты гниения осадков на полигонах или продукты сжигания осадков в виде загрязняющих атмосферу газов и пыли, что неприемлемо с экологической точки зрения.

Одним из наиболее эффективных решений указанных выше проблем является применение известного метода пиролиза органических отходов, исключаящего контакт исходного сырья с окружающей средой [1]. К существенным недостаткам наиболее распространенных технологий

пиролиза, использующих теплоту, выделяющуюся при частичном сжигании органической массы внутри реактора при подаче в него атмосферного воздуха или кислорода, можно отнести образование большого количества смол и низкую теплотворную способность газообразных продуктов процесса.

Проведено экспериментальное исследование продуктов пиролиза иловых осадков сточных вод в среде водяного пара высокого давления без контакта с окружающей средой. При этом источником пара служит вода, входящая в исходное сырье, что позволяет проводить термохимические реакции разложения его органических компонентов с образованием низкомолекулярных газообразных соединений, угля и воды, которая после конденсации и охлаждения в теплообменнике может быть возвращена в окружающую среду или подана на доочистку для использования, например в технических целях.

Цель исследований – определение эффективности изучаемого метода и его параметров.

Материалы и методика исследований. Схема экспериментальной установки для переработки иловых осадков методом пиролиза в среде водяного пара высокого давления представлена на рисунке [2, 3].

Сосуд высокого давления 1 (реактор, автоклав) имел две торцевые съемные крышки для помещения в него стакана с образцом перерабатываемого сырья. Данное устройство помещали в муфельную печь 2, которая позволяла нагревать сырье в сосуде со стаканом до температур 600 °С.

Переработке подвергали пробы многолетних иловых осадков сточных вод с Люберецких очистных сооружений Московской области. Исходные образцы имели резкий неприятный запах и полужидкую консистенцию темно-зеленого (почти черного) цвета.

Образцы помещали в тонкостенный стакан из нержавеющей стали 3, который в свою очередь вставлялся с небольшим зазором в цилиндрический сосуд высокого давления 1. В один из фланцев была врезана стальная трубка, на другом конце которой находились манометр 4 и редукционный клапан 5. Клапан был предварительно настроен на давление сброса в диапазоне 20,0–40,0 МПа, что соответствует рабочим технологическим режимам в разрабатываемом термохимическом реакторе промышленного применения. К внешней боковой стенке цилиндра через тонкую диэлектрическую прокладку прикреплена термopара 6 с термоизолированным от внешних источников тепла спаем с тем, чтобы его температура соответствовала температуре стенки реактора 1. С редукционным клапаном 5 сообщается трубка 7 для сбора газов, выходящих из реактора, в предварительно наполненную водой бутылку 8, помещенную в резервуар с водой 10.

Эксперименты проводили для исходных образцов с различным массовым содержанием влаги, для чего органическое сырье смешивали с соответствующим количеством добавленной воды и тщательно перемешивали до получения однородной пульпы 9, помещаемой в стакан 3 перед проведением процесса пиролиза.

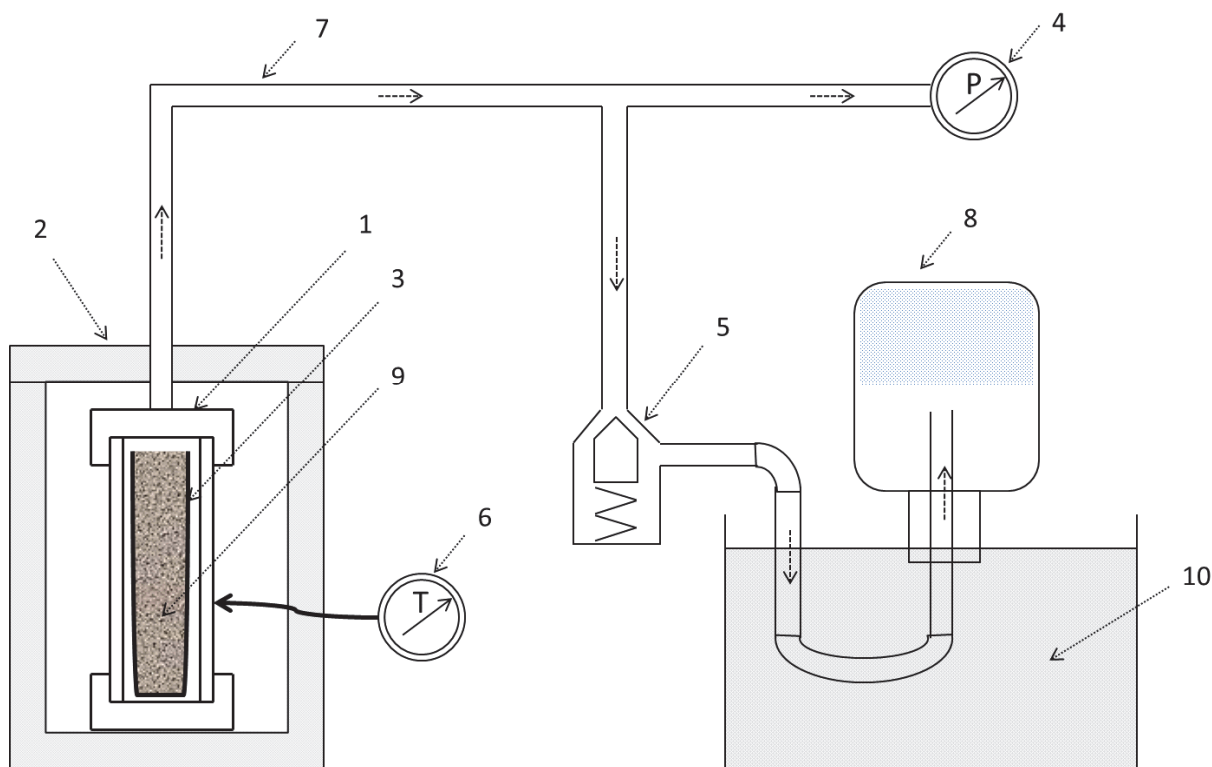


Схема экспериментальной установки:

- 1 – реактор (автоклав); 2 – муфельная печь; 3 – стакан; 4 – манометр;
 5 – клапан-регулятор давления; 6 – термометр с термопарой;
 7 – соединительная трубка; 8 – резервуар для сбора газов;
 9 – сырье с водой; 10 – резервуар с водой

Для достижения условий, необходимых для проведения каждого конкретного эксперимента автоклав нагревали в муфельной печи 2. При этом требуемое значение давления в реакторе 1 поддерживали с помощью предварительно настроенного редуционного клапана путем сброса избыточного давления. Максимальная температура в проведенных опытах варьировалась в пределах 350–550 °С.

Эксперимент проводили следующим образом. После помещения в муфельную печь автоклава, содержащего стакан с образцом подготовленного сырья, и термоизоляции зазоров включали нагрев муфельной печи. При нагреве до температуры 380–400 °С давление в реакторе достигало порога срабатывания редуционного клапана 5, через который начинали выходить газы с парами воды. При заданной температуре нагрев прекращали, а реактор вынимали из муфельной печи и охлаждали. Полный цикл нагрева-охлаждения занимал время от одного до трех часов. Затем реактор разгерметизировали и извлекали стакан с твердыми компонентами продуктов переработки сырья. Этот остаток представлял из себя ультрадисперсную массу темно-коричневого цвета и нейтрального запаха. По своим свойствам эта масса напоминала обычную золу. При контакте с водой она смачивается и частично тонет, образуя взвесь, которая почти полностью проходит через однослойный бумажный фильтр. Состав газообразных продуктов после переработки в

автоклаве при различных температурах и давлениях измеряли прибором Testo t350 S (Германия).

Результаты исследований. В табл. 1 приведены результаты определения сухой массы твердого продукта пиролиза, которые сопоставляли с результатами взвешивания проб исходного органического сырья. Влагосодержание исходных образцов определяли путем выпаривания воды в вытяжном шкафу в течении 6–10 ч при температуре 110–120 °С. Потеря массы образцов при таких измерениях составляет 75–84 %, что соответствует средней влажности образцов порядка 80 %. Масса твердого продукта термохимической переработки образцов оказывалась примерно в 10 раз меньше массы исходного органического вещества. В табл. 1 эффективность утилизации иловых осадков представлена «коэффициентом потери массы» – параметром, представляющим отношение массы конечного сухого продукта к массе исходного сырья [5].

1. Потеря сухой массы твердого вещества при длительной сушке и термохимической переработке иловых осадков

№ пробы	Масса пробы		Максимальная температура, °С	Сухая масса твердого продукта, г	Коэффициент потери массы
	Исходное сырье, г	Добавленная вода, г			
Термохимическая обработка					
16	60,0	60,0	460	6,8	0,11
31	20,0	100,0	465	1,6	0,08
32	20,0	100,0	430	2,3	0,15
34	40,0	80,0	510	3,9	0,1
39	10,0	110,0	450	1,0	0,1
Длительная сушка (10 ч при t=110 °С)					
–	133,4	–	120	27,9	0,21

Проведен анализ состава и количества газов, выходящих из автоклава в результате термохимической обработки. В табл. 2 приведены значения концентрации газов, полученных для проб, обработанных при различных условиях эксперимента. Следует отметить весьма широкий диапазон изменения соотношения газообразных компонентов в продуктах реакции. Это свидетельствует о том, что изменение максимальной температуры может приводить к существенному изменению относительного состава газов. Вместе с тем установлено, что давление водяных паров и газов практически не влияет на состав газообразных продуктов термохимической переработки. По этой причине данные по исследованию зависимости состава газов от давления в реакторе не приводятся.

Количество собранного газа в различных опытах также варьировалось в значительных пределах. Для точного определения количества образовавшегося газа нужно учитывать его объем в подводящих трубках, остающихся при высоком давлении.

Использованный для экспрессного анализа цифровой прибор позволял одновременно определять наличие и других газов. Однозначно

можно утверждать, что концентрация углекислого газа и окислов азота в продуктах пиролиза не превышает 0,1 %. В незначительном количестве опытов (примерно 10 %) обнаружено присутствие небольшого количества (менее 0,2 %) SO₂.

2. Состав газообразных продуктов переработки иловых осадков

№ пробы	Состав пробы		Максимальная температура, °С	Состав газов, %		
	Сырье, г	Вода, г		CO	H ₂	C _x H _y
32	20	100	440	6	38	56
39	10	110	450	2	4	94
31	20	100	465	15	15	70
16	60	60	480	26	11	63
34	40	80	510	7	13	80
21	40	80	520	13	45	42

Объем полученных в результате экспериментов данных недостаточен для объяснения большого разброса в относительных концентрациях составляющих горючего газа. Специально этот вопрос не изучался, поскольку это выходило за рамки основной задачи настоящей работы, которая носит, скорее, прикладной характер и состоит в исследовании возможности переработки иловых остатков экологически эффективным способом, обеспечив при этом максимальное уменьшение массы твердого продукта.

Можно предположить, что причинами обнаруженного существенного разброса относительных долей полученных газов в продуктах переработки в конкретных экспериментах являются различия фактических значений парциальных давлений компонентов парогазовой смеси, которые и определяют кинетику гомогенных химических реакций. В то же время контроль этих параметров не был предусмотрен конструкцией лабораторной установки. Реальная ситуация еще более усложняется, если учитывать неоднородность температуры распределения парциальных давлений в направлении потока от реактора до точки сброса газов в приемник через редукционный клапан [4].

Состав твердой фракции после переработки в автоклаве не определялся. Его можно охарактеризовать как мелкодисперсный порошок нейтрального запаха, не содержащий смол или жидкостей.

Выводы. Проведенные эксперименты по пиролизу иловых осадков сточных вод в среде водяного пара высокого давления показали следующее:

- термохимическая переработка приводит к уменьшению сухой массы исходного сырья примерно вдвое с переходом значительной части вещества в газы;

- в составе собранных при атмосферном давлении газов присутствуют только горючие составляющие, практически отсутствуют углекислый газ, а также окислы азота и серы;

– горючие газы включают в себя водород и моноокись углерода, при этом фактическое соотношение их концентраций может изменяться в широких пределах в зависимости от технологических режимов обработки.

Полученные экспериментальные результаты подтверждают наличие в иловых осадках сточных вод значительного количества неразложившегося органического вещества даже после длительного хранения на открытых площадках. Показано, что состав получаемых горючих газов может изменяться в широких пределах в зависимости от температуры и других условий проведения процесса пиролиза, что указывает на возможность управления составом полезных газообразных продуктов технологическими методами.

Дальнейшие исследования будут направлены на уточнение технологических параметров пиролиза различного органического сырья в сверхкритических условиях, создание и испытание экспериментальной установки с непрерывным технологическим циклом.

Список литературы

1.Использование технологии WRHTP для переработки отходов биомассы / Ю.А. Кожевников, С.В. Пашкин, В.В. Сербин, Ю.М. Щекочихин // Будущее энергетики: возможности российско-германского сотрудничества (в рамках года Германии в России): Междунар. науч.-практ. конф., 26–27 февр. 2013 г.: тезисы докл. – М., 2013. – С. 28–31.

2.Пат. 2408649 Российская федерация, МПК В01F 7/10. Способ переработки органических отходов и устройство для его осуществления / Пашкин С.В. – №2008152111/05; заявл.29.12.08; опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1.

3.Пат. 2464295 Российская Федерация, МПК В01F 7/10. Способ термохимической переработки биомассы для получения синтез-газа / Кондратюк В. А., Воскобойников И. В., Щелоков В.А., Пашкин С. В., Иванова М. А.; заявл. 16.11.2010; опубл. 24.09.11, Бюл. № 29.

4.Приготовление композитных котельных и моторных биотоплив из альгамассы / В.Г. Систер, Е.М. Иванникова, В.Г. Чирков, Ю.А. Кожевников. // Альтернативная энергетика и экология. –ISJAEЕ. – 2013/1. – Т.2. – С. 103–107.

5.Приготовление экологичных котельных биотоплив / А.Г. Чижиков, Ю.А. Кожевников, О.Е. Аладинская // Альтернативная энергетика и экология. – ISJAEЕ 3. – 2012. –Ч.1. – С. 96 – 101.

Наведено результати експериментальних досліджень піролізу мулових осадків стічних вод міських очисних споруд у водяній парі високого тиску. Встановлено, що в складі утворюваних газів присутні тільки горючі компоненти за відсутності двоокису вуглецю та окислів азоту. Відносний склад горючих газів в значній мірі залежить від умов проведення експериментів, а їх загальна кількість відповідає втраті сухої маси, одержуваної в результаті тривалого сушіння при температурі 110 °С вихідного мулового осаду. Отримана після піролізу суха маса є ультрадисперсним гігроскопічним порошком темного кольору без запаху, який утворює стійку суспензію у воді, яка після пропускання через фільтрувальний папір практично не залишає слідів на фільтрі і не зазнає помітного розшарування.

Мулові осади, піроліз, установка, експерименти, водяна пара, тиск, температура, горючі газу.

The results of the experimental studies have been described aimed at the pyrolytic utilization of sewage sludge derived from municipal wastewater treatment plants using the high-pressure steam technology. Experiments have shown that combustible gases are present in the resulting gas composition, and no carbon dioxide or nitrogen oxides have been detected. The relative composition of combustible gases is strongly dependent on the experimental conditions, and their amount corresponds to the dry weight loss of initial sludge obtained by a long-term drying procedure at 110°C. The solid dry fraction of the pyrolysis products is a dark fine powder without any specific odor that can be easily mixed with water, without consequent powder subsidence during 10 days after its preparation and without making considerable marks on a conventional paper filter of normal density.

Silt sediments, pyrolysis, installation, experiments, water vapor, pressure, temperature, flammable gases.

УДК 621.311.6:621.357.1/7.027:628.1

ОБГРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО СПОСОБУ УПРАВЛІННЯ ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЛІЗНИХ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

**Ф.І. ГОНЧАРОВ, кандидат технічних наук
А.П. ЛЕВЧУК, аспірант***

Описано спосіб енергоефективного управління джерелом живлення електролізної системи очищення водних розчинів із врахуванням концентрацій речовин у робочому розчині, виражених через показник рН. Встановлено головні недоліки сучасних систем керування електролізними джерелами живлення для систем очищення води. Запропоновано енергоефективний спосіб керування електролізними джерелами живлення, побудований на адаптивному виборі оптимальної форми імпульсного струму навантаження із врахуванням збурень рН робочого розчину.

Джерело живлення, енергоефективність, очищення води, рН, електроліз, імпульсний струм, форма імпульсу, ефективність імпульсних режимів, вибір форми струму.

Використання джерел живлення електролізерів із можливістю застосування в роботі різноманітних або заданих форм імпульсного струму навантаження в системах очищення водних розчинів дозволить

**Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент Ф. І. Гончаров
© Ф.І. ГОНЧАРОВ, А.П. ЛЕВЧУК, 2015*

Мулові осади, піроліз, установка, експерименти, водяна пара, тиск, температура, горючі газу.

The results of the experimental studies have been described aimed at the pyrolytic utilization of sewage sludge derived from municipal wastewater treatment plants using the high-pressure steam technology. Experiments have shown that combustible gases are present in the resulting gas composition, and no carbon dioxide or nitrogen oxides have been detected. The relative composition of combustible gases is strongly dependent on the experimental conditions, and their amount corresponds to the dry weight loss of initial sludge obtained by a long-term drying procedure at 110°C. The solid dry fraction of the pyrolysis products is a dark fine powder without any specific odor that can be easily mixed with water, without consequent powder subsidence during 10 days after its preparation and without making considerable marks on a conventional paper filter of normal density.

Silt sediments, pyrolysis, installation, experiments, water vapor, pressure, temperature, flammable gases.

УДК 621.311.6:621.357.1/7.027:628.1

ОБГРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО СПОСОБУ УПРАВЛІННЯ ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЛІЗНИХ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

**Ф.І. ГОНЧАРОВ, кандидат технічних наук
А.П. ЛЕВЧУК, аспірант***

Описано спосіб енергоефективного управління джерелом живлення електролізної системи очищення водних розчинів із врахуванням концентрацій речовин у робочому розчині, виражених через показник рН. Встановлено головні недоліки сучасних систем керування електролізними джерелами живлення для систем очищення води. Запропоновано енергоефективний спосіб керування електролізними джерелами живлення, побудований на адаптивному виборі оптимальної форми імпульсного струму навантаження із врахуванням збурень рН робочого розчину.

Джерело живлення, енергоефективність, очищення води, рН, електроліз, імпульсний струм, форма імпульсу, ефективність імпульсних режимів, вибір форми струму.

Використання джерел живлення електролізерів із можливістю застосування в роботі різноманітних або заданих форм імпульсного струму навантаження в системах очищення водних розчинів дозволить

**Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент Ф. І. Гончаров
© Ф.І. ГОНЧАРОВ, А.П. ЛЕВЧУК, 2015*

якісно змінити роботу системи та забезпечить високу енергоефективність [1,3]. Надання джерелу живлення можливості автоматично вибирати та застосовувати найефективнішу форму імпульсного струму залежно від технологічних змін процесу та можливих забруднювачів надасть системі адаптивні властивості, що дозволить в окремих випадках досягнути майже 50 %-ного скорочення загальних витрат електроенергії в порівнянні із стаціонарним електролізом [1,2].

Але на цей час не розроблено принцип та спосіб управління джерелом живлення систем електролізного очищення водних розчинів із використанням адаптивного вибору найефективнішої форми імпульсного струму навантаження залежно від різноманітних концентрацій речовин у водному розчині, що виражаються, в загальному вигляді, через початкове рН розчину.

Мета досліджень – обґрунтування енергоефективного способу управління джерелом живлення систем електролізного очищення водних розчинів із використанням адаптивного вибору енергоефективної форми імпульсного струму навантаження залежно від початкового рН водного розчину.

Матеріали та методика досліджень. Базовий об'єкт дослідження – процес витрат електроенергії джерелом живлення електролізного очищення водних розчинів із різним рН.

Предметом дослідження є система керування джерелом живлення, що видає відповідну форму імпульсного струму навантаження електролізера.

Для цього пропонується використати джерело живлення електролізера з можливістю видавати на вихідні клеми задану форму імпульсного струму навантаження, генератор форми струму з можливістю автоматично-контактного перемикання між формами струму та рН-метр (потенціометр). Запропонований спосіб буде базуватися на методиці управління електролізним джерелом живлення через вибір найменш затратного способу обробки водного розчину при інших рівних умовах отримання кінцевого продукту.

Поставлена мета вирішується удосконаленням способу керування джерелом живлення через надання системі керування адаптивних властивостей в виборі оптимальної форми імпульсного струму навантаження за рахунок введення в систему керування блока автоматичного вибору оптимальної, енергоефективної, форми за заданою методикою для відповідного технологічного режиму, поставлених задач та рН робочого розчину.

Це вирішується через одночасне використання з роботою системи керування джерелом живлення електролізного очищення, системи контролю за рН водного розчину в зоні електролізера, причому, можливе використання джерел живлення з вбудованими системами контролю за струмом, напругою та формою на вихідних клеммах, що робить настроювання роботи джерела живлення ще точнішою.

Перспективним для запропонованого способу, що базується на можливості роботи в непрогнозованих умовах збурень, є використання інтелектуальної автоматичної системи керування, яка буде базуватися на

використанні математичного апарата нечітких нейронних мереж, можливості якого освітлені в роботі [4].

Результати досліджень. Запропонована схема покращення управління системою керування джерелом живлення для систем електролізного очищення водних розчинів зображена на рисунку.

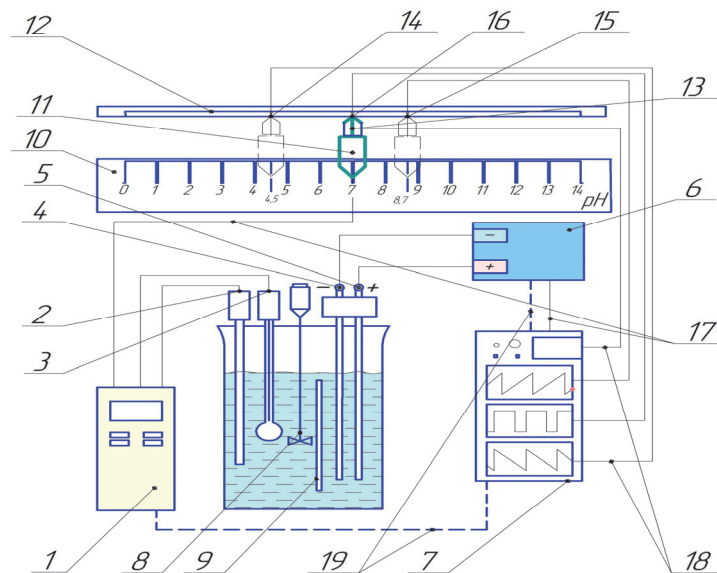


Схема управління системою керування джерелом живлення для електролізного очищення водних розчинів:

- 1 – рН-метр; 2 – термодатчик рН-метра; 3 – комбінований скляний електрод рН-метра; 4 – катод; 5 – анод; 6 – джерело живлення електролізера; 7 – генератор форми імпульсного струму навантаження (можливо з інтелектуальним блоком вибору);
- 8 – пристрій для перемішування; 9 – діелектрична перегородка;
- 10 – вимірювальна шкала потенціометра; 11 – рухомий сигнальний адаптер потенціометра; 12 – планка керування формою струму;
- 13 – рухомий контактний адаптер перемикання багатofункціональних налаштувань; 14-16 – точки налаштування перемикаць форми струму;
- 17-18 – лінії зв'язку позиційного керування; 19 – лінії зв'язку інтелектуального керування (для системи з інтелектуальним блоком вибору)

У процесі роботи електролізного джерела живлення 6 перемикання форм сигналу проходить при зміні відповідних параметрів виконуючо-контролюючої системи керування джерела живлення, як у простому виконанні, що використовує позиційне керування 17-18, так і в ефективнішому, яке використовує інтелектуальну систему керування на основі нечіткої нейронної мережі (ННМ), автоматичному програмному режимі із застосуванням ліній інтелектуального керування 19, яке може керуватися беручи за контрольні параметри дані (в основному) рН-метра 1, або інші, наприклад окисно-відновний потенціал, мутномір та ін. Інші параметри для контролю беруться з самої системи, причому можлива

інтеграція контролюючих блоків у самому джерелі живлення. Це – сила струму, напруга, форма струму тощо. Ці параметри задаються відповідно до рекомендованих улаштувань та діапазону контролю і потребують задавання точки, або точок перемикання форми струму 14-16, або при використанні інтелектуальної системи керування – мінімальні затрати енергії, якість електрохімічного процесу, або контроль параметрів на наявність біонебезпечних агентів та ін. У процесі роботи, при досягненні відповідно налаштованої точки перемикання 14-16, рухомим контактним адаптером перемикання багатофункціональних налаштувань 13, який пов'язаний з показниками рН-метра 1 через рухомий сигнальний адаптер 11, проходить перемикання відповідної форми імпульсного струму в генераторі форми імпульсного струму, який задає форму вихідного струму навантаження на вихідних клеммах джерела живлення 6.

Точки перемикання форми струму налаштовуються відповідно до законів регулювання, які знаходяться функціями аперіодичності залежно від особливостей технологічних вимог та властивостей зміни рН відповідного розчину чи технологічного процесу.

Система керування залежно від технологічної мети може використовувати одну точку перемикання, дві, або ще декілька додаткових. Враховуючи, що зміна головного контролюючого параметра (рН) може відбуватися стрибкоподібно та з різною частотою, а це відповідно призведе до необґрунтованих постійних перемикань форми струму, потрібні налаштування чутливості рН-метра. Додатково, щоб не допустити постійних та необґрунтованих перемикань, оптимально використовувати три точки, з яких дві є реальними точками перемикання форми струму 14, 15, а третя точкою підготовки, або точкою балансу 16.

Система керування, яка використовує інтелектуальний блок, може сама регулювати та налаштовувати додаткові робочі параметри, потрібну силу струму, та відповідно бути базою для корегування рН у системі.

Висновки. Використання запропонованого способу енергоефективного управління для джерел живлення систем електролізного очищення водних розчинів через адаптивний вибір найменш енергозатратної форми імпульсного струму навантаження забезпечить енергоефективний режим роботи системи.

Методика енергоефективного вибору форми імпульсного струму навантаження надасть системі адаптивних та превентивних властивостей у ситуаціях, пов'язаних із проникненням у систему неконтрольованих збурень забруднюючих речовин техногенного, природного чи навіть керованого біологічно небезпечного характеру.

Архітектура системи керування повинна бути виконана в одному блоці, що включає джерело живлення, генератор форми струму, системи контролю параметрів (рН, струм, напруга, форма струму, біологічно небезпечні речовини та ін.) та інтелектуальний блок.

Із врахуванням, що енергоефективний процес електролізного очищення водних розчинів являє собою багатофакторну та нелінійну задачу, для вирішення поставленої мети доцільно використовувати

математичний апарат нечітких нейронних мереж, що ефективно працюють та вирішують поставлені задачі для таких складних умов.

Список літератури

1. Гончаров Ф.И. Влияние формы импульсного тока на энергоэффективность получения коагулянта путем анодного растворения железа в зависимости от начального рН раствора / Ф.И. Гончаров, А.П. Левчук // Инновации в сельском хозяйстве. – 2014. – №4(9). – С. 53–57.

2. Гончаров Ф.И. Обґрунтування заходів та засобів підвищення ефективності та енергоефективності вирішення питань біобезпеки водозабезпечення / Ф.И. Гончаров, А.П. Левчук // Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК: тези допов. міжнар. наук.-техн. конф. 16-17 жовтня 2014 р. – К.: НУБіП України, 2014. – С. 67–69.

3. Левчук А.П. Обґрунтування енергоефективного способу живлення електротехнологічних систем очищення водних розчинів / А.П. Левчук // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – №194, ч. 3. – С. 280–290.

4. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм: монографія / [В.П. Лисенко, В.М. Решетюк, В.М. Штепа та ін.]. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2014. – 336 с.

Описан способ энергоэффективного управления источником питания электролизной системы очистки водных растворов с учетом концентраций веществ в рабочем растворе, выраженных через показатель рН. Установлены главные недостатки современных систем управления электролизными источниками питания для систем очистки воды. Предложен энергоэффективный способ управления электролизными источниками питания, построенный на адаптивном выборе оптимальной формы импульсного тока нагрузки с учетом возмущений рН рабочего раствора.

Источник питания, энергоэффективность, очистка воды, рН, электролиз, импульсный ток, форма импульса, эффективность импульсных режимов, выбор формы тока.

Describes how energy efficient power supply management system cleaning electrolysis of aqueous solutions, taking into account the concentration of substances in the working solution in terms of the pH. Established major shortcomings of modern control systems electrolysis power supplies for water treatment systems. The proposed energy-efficient way to manage the electrolytic power supply based on adaptive selection of the optimal form of impulse load current with regard to disturbances pH working solution.

Power supply, energy efficiency, water treatment, pH, electrolysis, surge current, pulse shape, efficiency pulsed mode, current selection form.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛООБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

***Д.А.ТИХОМИРОВ, кандидат технических наук
ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва***

Предложен энергоэффективный способ децентрализованного теплообеспечения животноводческих помещений с утилизацией, озонированием и рециркуляцией воздуха. Обоснована и представлена функционально-технологическая схема установки, реализующей предложенный способ и обеспечивающей снижение энергозатрат до 60 % по сравнению с традиционными системами.

Теплообеспечение, утилизатор, озонирование, рециркуляция, животноводческие помещения, микроклимат.

В центральных и северных широтах РФ наиболее энергоемким процессом в системах теплообеспечения животноводческих ферм является обеспечение микроклимата. На эти цели расходуется более 60 % тепловой энергии от общих затрат на теплообеспечение объекта в целом. Потери теплоты, составляющие 70–80 % общего расхода, приходятся на подогрев вентиляционного воздуха в холодный период года. Тепловыделения животных не в состоянии полностью покрыть теплотери на воздухообмен при низких температурах наружного воздуха.

Значимый энергетический эффект можно получить при использовании систем утилизации теплоты удаляемого из помещения воздуха и частичной рециркуляции воздуха. Но система рециркуляции напрямую не может быть применена в животноводческих помещениях из-за высокой бактериальной обсемененности и загрязненности циркулирующего воздуха и газообразными веществами, появляющимися в результате жизнедеятельности животных, а также влаги. Поэтому необходимо предусматривать современные способы очистки и обеззараживания воздуха. Очищать и обеззараживать воздух необходимо также и потому, что с вентиляционным воздухом из помещений выносятся большое количество пыли, микроорганизмов, газов, что приводит к загрязнению окружающей среды. При большой запыленности и высоком содержании микроорганизмов в наружном воздухе вентиляция становится малоэффективной.

Приобретают важное значение вопросы не только сбережения теплоты (энергии), но очистки и обеззараживания воздуха, находящегося внутри помещения и удаляемого из него.

Наукой и практикой, особенно в промышленности, показана высокая эффективность применения теплоутилизационных установок [1]. Теплоутилизаторы в системах вентиляции и отопления

сельскохозяйственных помещений способны экономить энергозатраты до 40–50 %. Наиболее эффективно применение теплоутилизаторов в системах обеспечения микроклимата на фермах КРС и свиноводческих фермах, в помещениях, где содержатся животные, выделяющие много теплоты. Научные основы разработки средств и способов снижения энергозатрат на вентиляцию и отопление производственных зданий и сооружений в сельскохозяйственном производстве представлены в трудах А.Г. Егiazарова, А.М. Зайцева, Е.Е. Карписа, О.Я. Кокорина, А.А. Лебеда, Н.Н. Новикова, В.А. Самарина, Г.Н. Самарина, В.Н. Расстригина., О.И. Юркова и других ученых.

Разработкам теплоутилизаторов посвящены теоретические и практические работы П.П. Антонова, О.Ф. Довбненко, И.В. Ильина, Ю.А. Меновщикова, В.И. Цибикидоржиева, М.П. Шаталова [2] и др.

Однако по ряду причин широкого внедрения эти разработки не получили, в том числе из-за значительных капитальных затрат, металло- и материалоемкости, громоздкости конструкций и относительно невысокой энергетической эффективности. Кроме того, большинство установок не достаточно приспособлены для работы в агрессивных условиях окружающей среды.

К недостаткам теплоутилизатора [3] можно отнести достаточно высокое содержание влаги в рециркулирующем воздухе. Ограничение степени рециркуляции внутреннего воздуха приводит к дополнительным затратам энергии на подогрев приточного воздуха путем включения встроенного пикового электроподогревателя. Кроме того, при снижении температуры приточного воздуха может произойти замерзание конденсата, образующегося на поверхности теплообмена со стороны удаляемого воздуха. Это приводит к ухудшению теплообмена, необходимости включения режима оттаивания и снижению эффективности работы теплоутилизатора.

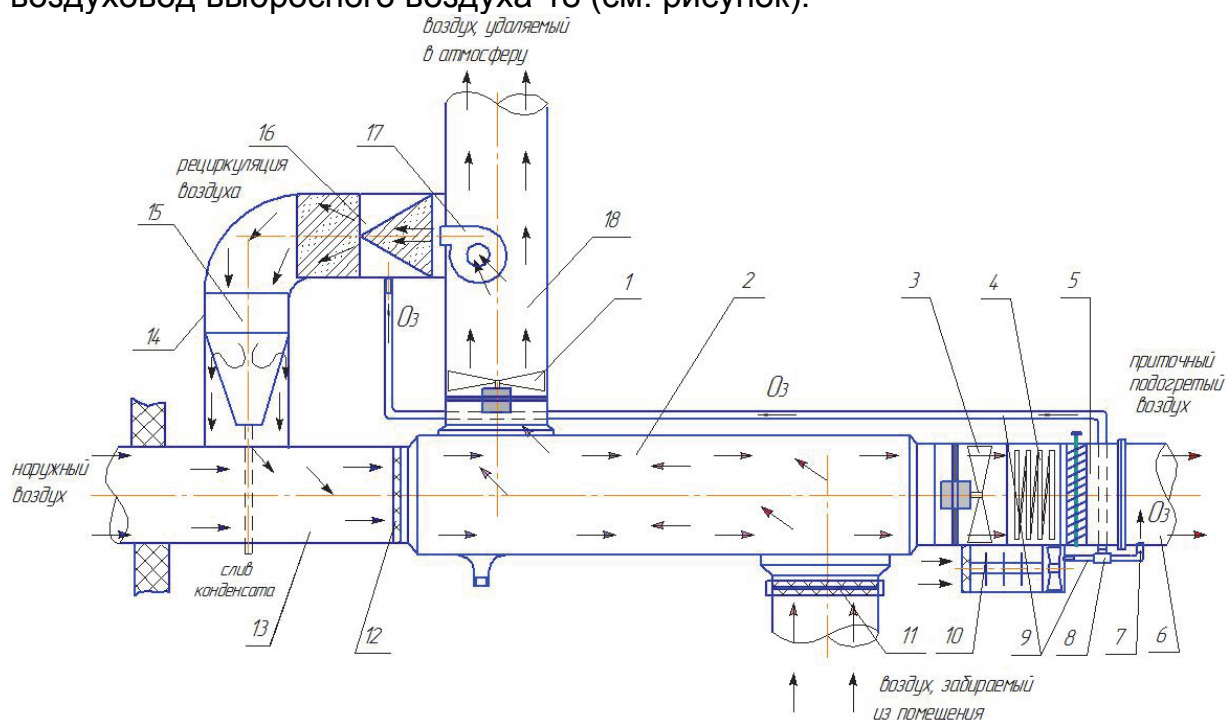
Цель исследований – разработка и реализация нового способа децентрализованного теплообеспечения животноводческих помещений, обеспечивающего требуемые параметры микроклимата (температура, газовый состав и чистота воздуха) в рабочей зоне размещения животных при значительном (до 60 %) снижении энергозатрат на подогрев приточного воздуха, повышении надежности работы электротеплового оборудования и улучшении окружающей среды.

Результаты исследований. На основе проведенных исследований и накопленного опыта совместно с А.Ф. Першиным разработан новый высокоэффективный способ децентрализованного теплообеспечения и создания микроклимата в животноводческих помещениях, в основе которого положены принципы утилизации теплоты, озонирования и рециркуляции воздуха.

В результате реализации предлагаемого способа появляется возможность обеспечить подогрев приточного вентиляционного воздуха в наиболее холодный период года с помощью полимерного теплообменника, а также за счет увеличения количества рециркуляционного теплого внутреннего воздуха после его углубленной очистки и обеззараживания методом озонирования, осушения, что обеспечивает экономию энергозатрат

до 60 %; существенно улучшить газовый состав приточного и удаляемого воздуха; нормализовать экологическую обстановку вокруг животноводческого предприятия; повысить эффективность и расширить область применения установки.

Установка включает в себя вентилятор удаляемого воздуха 1, малогабаритный теплообменник из полимерных материалов 2, электровентилятор приточного воздуха 3, пиковый электрический подогреватель приточного воздуха 4, патрубок подачи воздуха 5, распределитель приточного воздуха 6, штуцер 7, клапан 8, трубопроводы подачи озона 9, озонатор коронного разряда 10, фильтр удаляемого воздуха 11, фильтр приточного воздуха 12, приточный воздуховод 13, рециркуляционный канал 14, содержащий влагоотделитель 15, эжектор 16, побудительный вентилятор 17 с регулируемой производительностью, воздуховод выбросного воздуха 18 (см. рисунок).



Функционально-технологическая схема установки

Теплый и влажный воздух из помещения забирается через всасывающее отверстие теплообменника 2 с помощью вытяжного вентилятора 1, проходит через фильтр 11, где очищается от механических примесей и, охлажденный и осушенный в процессе теплообмена, через воздуховод выбросного воздуха 18 удаляется наружу. Наружный воздух забирается через отверстие приточного воздуховода 13 с помощью приточного вентилятора 3, проходит через фильтр 12 и подается в теплообменник 2, и подогретый в процессе теплообмена с теплым удаляемым внутренним воздухом, по патрубку подачи воздуха 5 поступает в электрический подогреватель 4, в котором, при необходимости, дополнительно подогревается до требуемой температуры. После него приточный воздух подается в распределитель воздуха 6. Для санации

помещений приточный воздух может смешиваться с озоном, который по трубопроводу 9 поступает от озонатора коронного разряда 10 через клапан 8 и штуцер 7.

При снижении температуры наружного воздуха t_n ниже критической $t_{кр}$ включается вентилятор 17, заборное устройство которого расположено в канале воздуховода выбросного воздуха 18, и часть отработанного и охлажденного до точки росы удаляемого воздуха помещения подается в рециркуляционный канал 14. Под критической температурой $t_{кр}$ понимается такая температура наружного воздуха, при которой происходит начало обмерзания теплообменной поверхности со стороны удаляемого из помещения воздуха, величина которой зависит от конструктивных особенностей и параметров установленного теплообменного аппарата и влажности внутреннего воздуха. В эжекторе 16 создаются условия образования водяного аэрозоля (тумана). Одновременно в эжектор 16 при помощи трубопровода 9 подсасывается озон из озонатора 10. Мельчайшие частицы воды имеют большую площадь поверхности, что способствует усиленному перемешиванию с озоном и интенсификации абсорбции углекислого газа и других вредных веществ, а также уничтожению вредной микрофлоры, содержащихся в рециркуляционном воздухе. По окислительному воздействию озон (O_3) превосходит другие вещества, и это обстоятельство предполагает его использование как высокоэффективное и недорогое средство санации воздуха при использовании озонаторов коронного разряда.

Во влагоотделителе 15, например циклонного типа, происходит осушение рециркуляционного воздуха. Отделившаяся при этом влага, содержащая растворы солей и другие загрязнения, образовавшиеся после обработки воздуха озоном, удаляется в канализацию. Из рециркуляционного канала 18 часть воздуха во избежание обмерзания теплообменной поверхности со стороны удаляемого воздуха направляется на вход теплообменника 2 для подогрева приточного воздуха. Другая часть рециркуляционного воздуха по каналам, расположенным в корпусе теплообменника, попадает в электрический подогреватель 4 и распределитель приточного воздуха 6, минуя теплообменник.

При таком углубленном способе очистки внутреннего воздуха допускается его 75 % рециркуляция. Дальнейшее повышение степени рециркуляции нежелательно из-за снижения содержания кислорода в воздухе помещения в результате жизнедеятельности животных.

В зависимости от температуры наружного воздуха изменяется производительность вентилятора 17. При этом за счет увеличения рециркуляционной составляющей обеспечивается эффективная работа теплообменника без обмерзания его поверхности со стороны удаляемого воздуха.

Благодаря углубленной очистке, обеззараживанию и осушению внутреннего воздуха расширена степень его рециркуляции с 30 до 75 %, что позволяет значительно сократить энергозатраты на подогрев наружного приточного воздуха, снизить установленную мощность пикового

электроподогревателя, нормализовать экологическую обстановку внутри и вокруг животноводческого предприятия, повысить эффективность, надежность и расширить область применения установки при пониженных отрицательных температурах наружного воздуха.

Выводы. Проведенные аналитические и экспериментальные исследования прототипов [3, 4], физическое моделирование процессов теплообмена позволили обосновать функционально-технологическую схему энергосберегающей электрической вентиляционно-отопительной установки модульного типа с утилизацией теплоты, озонированием и рециркуляцией внутреннего воздуха при его углубленной очистке, предназначенной для поддержания основных показателей микроклимата в течение отопительного периода в помещениях, где содержатся животные. Дальнейшие исследования направлены на разработку действующего экспериментального образца, проведение его испытаний при различных, в том числе критических режимах работы.

Список литературы

1. Мишуров Н.П. Энергосберегающее оборудование для обеспечения микроклимата в животноводческих помещениях / Н.П. Мишуров, Т.Н. Кузьмина. – М.: «ФГНУ Росинформагротех», 2004. – 94 с.

2. Лебедев Д.П. Рекуперативные теплообменники для сельскохозяйственного производства / Д.П. Лебедев, М.П. Шаталов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 3-й Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2003. – Ч.3. – С. 340–345.

3. Расстригин В.Н. Исследования электрической вентиляционно-отопительной установки для животноводческих ферм / В.Н. Расстригин, Д.А. Тихомиров // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. – №1. – С.3–6.

4. Пат. №2473213 Российская Федерация, МПК А01К1/03. Способ и устройство очистки воздушной среды животноводческих и птицеводческих помещений / Е.К. Маркелова, Л.Н. Петрова, В.Ю. Уханова, А.В. Тихомиров, Д.А. Тихомиров, А.Ф. Першин; ГНУ ВИЭСХ.– №2011109389/13; заявл. 13.03.11; опубл. 27.01.13, Бюл. №3.

Запропоновано енергоефективний спосіб децентралізованого теплозабезпечення тваринницьких приміщень з утилізацією, озонуванням та рециркуляцією повітря. Обґрунтовано і представлено функціонально-технологічну схему установки, яка реалізує запропонований спосіб та забезпечує зменшення енергозатрат до 60 % порівняно з традиційними системами.

Теплозабезпечення, утилізатор, озонування, рециркуляція, тваринницькі приміщення, мікроклімат.

The effective way of the decentralised heat supply of livestock barns with salvaging, an ozonizing and air recycling is tendered. It is justified and introduced function-flow sheet of the installation, realising the tendered way and ensuring lowering of power inputs to 60 % in comparison with traditional systems.

A heat supply, heat utilizer, an ozonizing, a recycling, livestock barns, a microclimate.

ДІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ВИСОКОЇ НАПРУГИ НА НАСІННЯ ТОМАТІВ

**Л.С. КОЛОДІЙЧУК, кандидат педагогічних наук
С.В. ГАЙДУКЕВИЧ, М.В. ПОТАПЕНКО, Н.П. СЕМЕНОВА,
старші викладачі**

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

Розглянуто методи і засоби передпосівної стимуляції насіння електричним полем високої напруги. Визначено оптимальну тривалість обробки насіння томатів, що позитивно впливає на схожість і ріст рослин.

Висока напруга, обробка насіння, стимуляція.

Підвищення врожайності сільськогосподарських культур та виробництво достатньої кількості екологічно чистої продукції є актуальним питанням як в Україні, так і в усьому світі. Проблема забезпечення потреби країни продуктами харчування вимагає збільшення виробництва в умовах постійного зменшення придатних аграрних угідь. Значна частка сільськогосподарської продукції рослинництва (близько 25–30 %) втрачається за рахунок неякісного посівного насіння [3], понад 30 % посівного матеріалу є непридатним для сівби за рахунок низької схожості і недостатньої енергії проростання [1].

Часткове вирішення цієї проблеми, на наш погляд, лежить у площині впровадження сучасних, економічно вигідних, енергозберігаючих та екологічно безпечних технологій передпосівної стимуляції насіння.

Зокрема до перспективних засобів впливу на насіння сільськогосподарських культур належить дія електричного поля високої напруги.

Проблемам впливу електричного поля та струмів на біологічні процеси в рослинах присвячували свої дослідження такі відомі вчені, як А.Л. Чижевський, Т.І. В'яземський, І.В. Мічурін. Суттєвий вклад у формування розвитку теорії та використання електричних полів високої напруги в сільському господарстві внесли А.М. Басов, І.Ф. Бородин, Г.Б. Іноземцев. Питанням електричних розрядів у газах та теорії діелектриків присвячені теоретичні дослідження Я.І. Френкеля, Г.І. Сканаві, Н.П. Богородицького, Б.М. Тадеєва та ін.

Окремим аспектам впливу електромагнітних полів та розроблення обладнання і технологій передпосівної стимуляції насіння присвячені роботи відомих науковців Є.Л. Піротті, А.С. Черепньова, Л.Є. Никифорової, Н.Г. Косуліної, О.Д. Черенкова, Н.Д. Девяткова, Л.С. Червінського та інших [4–8].

© Л.С. КОЛОДІЙЧУК, С.В. ГАЙДУКЕВИЧ,
М.В. ПОТАПЕНКО, Н.П. СЕМЕНОВА, 2015

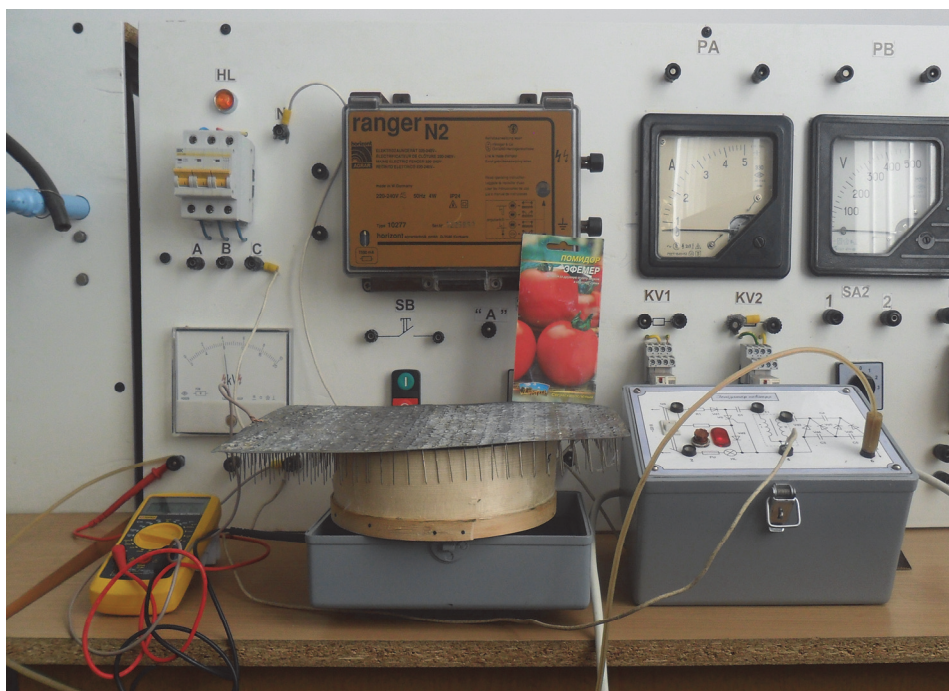
Однак у роботах цих авторів та інших вчених розглядається функціонування лише окремих експериментальних установок та їх вузлів, що використовуються у роботі з насінням певного виду, і не розроблено універсальної технології для різних видів і сортів.

Тому, розробка нових та удосконалення існуючих методів і засобів передпосівної стимуляції насіння електричним полем високої напруги, які були б універсальними, недорогими, конструктивно і технологічно простими, екологічно чистими, являє собою важливу науково-практичну задачу, вирішення якої покращить процес виробництва продукції рослинництва.

Мета досліджень – підвищення врожайності томатів шляхом створення і впровадження біотехнічної системи передпосівного обробітку насіння дією електричного поля високої напруги постійного струму.

Матеріали та методика досліджень. Відомо, що досягнення найбільшої врожайності рослин визначається потенційною продуктивністю сорту, якістю насіннєвого матеріалу, агротехнікою обробітку рослин. Серед цих чинників якість насіннєвого матеріалу відіграє помітну, а нерідко і вирішальну роль.

Насіння більшості зернових і овочевих культур характеризується високим ступенем різноманітності посівних якостей і властивостей. Насіння різної якості з'являється через різний стан зрілості, густини і розмірів насіння, тривалості і періоду спокою, які обумовлені відмінностями умов формування насіння на материнській рослині.



Зовнішній вигляд установки для обробки насіння електромагнітним полем високої напруги постійного струму

Розроблені і випробувані практикою методи, названі передпосівною обробкою насіння, дозволяють поліпшити посівні якості насіння і, зрештою, збільшити врожайність рослин. Передпосівну обробку насіння можна вважати одним із найважливіших прийомів агротехніки. Але тривале застосування отрутохімікатів призводить до непоправного екологічного збитку. Тому, на сучасному етапі розвитку сільського господарства все більше уваги спрямовано на використання екологічно чистих методів обробки насіння сільськогосподарських культур із метою селекції нових сортів, збільшення врожайності та покращення зберігання [4].

Нині існує досить багато методів впливу на посівний матеріал. Як показує аналіз науково-технічної літератури, одним із перспективних напрямів у підвищенні врожайності овочевих і зернових культур є застосування високоінтенсивних фізичних чинників, що генеруються електрофізичними методами. Відомі способи стимулюючої обробки насіння на основі дії постійних, градієнтних і імпульсних магнітних полів, змінних електромагнітних полів із широким спектром частот, електромагнітного поля коронного розряду, некогерентних світлових імпульсів, ультразвуку, γ -опромінення тощо [5, 6].

В усіх розроблених нових енерго- та ресурсозберігаючих методах є свої переваги і недоліки, однак найважливішою задачею агробіологічних наук і сільськогосподарського виробництва є підвищення життєздатності сільськогосподарських культур.

Одним із таких перспективних та ефективних напрямів застосування високоінтенсивних фізичних чинників, що генеруються електрофізичними методами є використання електричного поля високої напруги, під дією якого у повітряних включеннях насінневої маси відбуваються часткові розряди, що супроводжуються іонізаційними процесами. Це зумовлюється не тільки фізичною суттю обробки, але і можливістю безпосередньої дії електричного поля на біологічний об'єкт, що значно спрощує завдання створення технологічного обладнання, вибір параметрів обробки та сприяє зменшенню втрат продукції при тривалому зберіганні. Як наслідок – у всьому об'ємі насінневої маси, яка перебуває між електродами, буде утворюватись озон. Проте дія озону на оброблюване насіння суперечлива: з одного боку озон інгібує дихання насіння, що знижує інтенсивність обмінних процесів у насінні, з іншого – стимулює біологічні (посівні) якості.

Така електротехнологічна обробка насіння в електричному полі високої напруги (полі коронного розряду) базується на двох групах факторів:

- вплив на фізичні процеси безпосередньо в насінні, що призводить до біологічного стимулювання;
- вплив на мікроорганізми, які знаходяться на поверхні насіння, з метою знешкодження їхньої згубної діяльності.

У ході дослідження обробки насіння розроблено установку (див. рисунок), яка складається із генератора високої напруги, двох сіток з голками – електродів, можлива заміна однієї сітки пластиною. Сітки розміщуються паралельно одна одній на відстані 6 см, до яких від генератора високої

напруги підводиться джерело живлення з номінальним струмом 100 мА та напругою при номінальному навантаженні 8 кВ. Між двома сітками (пластина-сітка) пропускається насіннєвий матеріал.

Результати досліджень. Запропонований спосіб передпосівної обробки насіння томатів здійснюється так. Підготовлена проба насіння згідно з ДСТУ 4138-2002 обробляється високою напругою від 3 с до 6 хв. Це призводить до змін електричних властивостей насіння та збільшення його водопоглинання з 12 до 42 %, відповідно змінюється співвідношення маси. Механізм дії електричного поля високої напруги (коронного розряду) полягає в активації електронного комплексу молекул, що становлять сім'я, іонізації цих молекул, утворенні вільних радикалів, тобто в переході молекул у збуджений стан. Не дивлячись на те, що молекули у збудженому стані знаходяться частки секунди, відомо [6, 7], що цього достатньо для посилення роботи ферментних систем, контролюючого насіння.

Нами було протестовано насіння томатів «Ефемер» вологістю 10–12 % при температурі 17 °С. Потім відбирали по 10 насінин шляхом випадкової вибірки, які розміщували в пластикові тарілочки на фільтрувальний зволожений папір і поміщали в термостат для пророщування при $+25\pm 0,5$ °С. Через три доби кількість пророщеного насіння складала 88 %. Схожість насіння визначають для того, щоб встановити кількість насіння, здатного утворити нормально розвинені ростки.

При проведенні експерименту було встановлено, що для даного виду рослин існує відповідна оптимальна тривалість обробки.

Важливою характеристикою є енергія проростання, яка визначає якість і швидкість проростання насіннєвого матеріалу. Визначають її в одному аналізі зі схожістю.

Підрахунок нормально пророслого насіння проводився двічі, в першому визначали енергію проростання, в другому – схожість. Підрахунок виконувався за кожною повторністю, розділяючи ростки на нормально і ненормально пророслі, набряклі і загнилі (осередкова цвіль). Залежність між тривалістю обробки і схожістю насіння наведено в таблиці.

Схожість та час обробки насіння томатів

Тривалість електромагнітної обробки	Схожість насіння різних рослин, %
Контрольна партія	70
3 с	72
30 с	74
1 хв	76
2 хв	79
3 хв	81
4 хв	84
5 хв	90
6 хв	86

Для обчислення схожості насіння томатів підсумовано кількість нормально пророслого насіння при обліку енергії проростання і при обліку схожості. Загальне їх число виражено у відсотках.

Проведені дослідження показали, що обробка дією електричного поля високої напруги на насіння томатів позитивно впливає на схожість і ріст рослин. Зокрема рання схожість насіння, що є основним критерієм оцінки якості посівного матеріалу, у свою чергу, призводить до зменшення часу вегетації рослин, а стимуляція обмінних процесів дозволяє одержувати добре розвинені рослини, що в підсумку збільшує врожай та допомагає одержати його в скорочені строки.

Висновки. Внаслідок високовольтної електромагнітної стимуляції експериментально встановлено, що:

- на 20–27 % покращується процес поглинання води і поживних речовин;
- на 17–22 % підвищується схожість;
- на 14–16% підвищується енергія росту;
- зменшується час вегетації рослин;
- на 18–24 % підвищується врожайність у порівнянні з контрольним насінням;
- відбувається зв'язок між тривалістю обробки та фізико-хімічними і фізіолого-біологічними якостями насіння.

Список літератури

1. Адамень Ф. Состояние и направления развития семеноводства в Украине / Ф. Адамень // Международный с.-х. журнал. – 1997. – №2. – С. 49–50.
2. Батыгин Н.Ф. Биологические основы предпосевного облучения семян и зоны ее эффективности / Н.Ф. Батыгин // Сельскохозяйственная биология. – 1980. – Вып.4. – С. 495–504.
3. Березін О. В. Ефективне функціонування сільськогосподарського виробництва / О. В. Березін // Економіка АПК. – 2010. – № 2. – С. 26–31.
4. Берека О.М. Обробка насіння сільськогосподарських культур у сильних електричних полях / О.М. Берека // Зб. наук. праць Уманського аграр. ун-ту. – 2008. – Вип. 69, ч.1. – С. 34 – 40.
5. Перспективы использования факторов воздействия в растениеводстве / [Батыгин Н.Ф., Потапова С.М., Кортава Т.С. и др.]. – М.: ГВНИИТЭИСХ, 1978. – 56 с.
6. Применение электрического поля коронного разряда для стимулирования и обеззараживания посевного материала / Спилов Г.М., Савосин С.В., Лукьянов Н.Б. [и др.] // Высокоинтенсивные физические факторы в биологии, медицине, сельском хозяйстве и экологии: тр. междунар. конф., 26–28 апреля 2004 г. – Саров, 2004. – С. 278–284.
7. Разработка электрофизических способов и аппаратуры для стимулирующей обработки семян и растений / Спилов Г.М., Селемир В.Д., Верхова А.Ф. [и др.] // Машинные технологии и новая сельскохозяйственная техника для условий евро-северо-востока России: материалы II междунар. науч.-практ. конф., 20-23 июня 2002 г. – Киров, 2000. – С. 44–55.
8. Стимулирование семян мощными светоимпульсными воздействиями / Спилов Г.М., Зайцев А.С., Верхова А.Ф. [и др.] // "Физика и промышленность": междунар. конф. 22-26 сент. 1996 г.; Голицыно, Москов. обл: тезисы докладов. – М.: ТОО НИЛ, 1996. – С. 256–266.

Рассмотрены методы и средства предпосевной стимуляции семян электрическим полем высокого напряжения. Определена оптимальная длительность обработки семян томатов, что положительно влияет на всхожесть и рост растений.

Высокое напряжение, обработка семян, активация.

Methods and facilities of presowing stimulation of seed the electric field of high tension are considered. Certain optimum duration of treatments of seed of tomatoes is certain, that positively influences on a germination growth of plants.

High tension, process of seed, activating.

УДК 519.865

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ ЗАХОДІВ НА РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

***Г.М. КАЧУРІВСЬКА, кандидат фізико-математичних наук
В.О. КАЧУРІВСЬКИЙ, кандидат педагогічних наук
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

Проведено математичне моделювання розподілу обмежених енергетичних ресурсів між структурними підрозділами підприємства з метою отримання максимального прибутку. Цю модель сформульовано як задачу математичного програмування розподільного типу. Проаналізовано функцію прибутку з точки зору максимізації доходу та мінімізації енерговитрат. Для розрахунків числових характеристик та побудови графіків використано систему автоматизованого проектування MathCad. Розроблена модель може бути застосована для розподілу не лише енергетичних, а й довільних обмежених ресурсів підприємства.

Оптимізаційна модель, енергоресурси, прибуток.

Робота підприємства залежить від надійності забезпечення енергоресурсами. Запровадження надзвичайних заходів на ринку електричної енергії України в 2014 році передбачає виконання завдань з обмеження споживання електричної енергії та дотримання встановлених лімітів потужностей [3]. Встановлення лімітів на електричну енергію ставить завдання менеджерам підприємства оптимально використовувати доступні ресурси.

Активна енергозберігаюча політика відображена в Законі України «Про енергозбереження» [2], розпорядженнях Кабінету Міністрів України «Про схвалення енергетичної стратегії України на період до 2030 року»

© Г.М. КАЧУРІВСЬКА, В.О. КАЧУРІВСЬКИЙ, 2015

Рассмотрены методы и средства предпосевной стимуляции семян электрическим полем высокого напряжения. Определена оптимальная длительность обработки семян томатов, что положительно влияет на всхожесть и рост растений.

Высокое напряжение, обработка семян, активация.

Methods and facilities of presowing stimulation of seed the electric field of high tension are considered. Certain optimum duration of treatments of seed of tomatoes is certain, that positively influences on a germination growth of plants.

High tension, process of seed, activating.

УДК 519.865

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ ЗАХОДІВ НА РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

***Г.М. КАЧУРІВСЬКА, кандидат фізико-математичних наук
В.О. КАЧУРІВСЬКИЙ, кандидат педагогічних наук
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

Проведено математичне моделювання розподілу обмежених енергетичних ресурсів між структурними підрозділами підприємства з метою отримання максимального прибутку. Цю модель сформульовано як задачу математичного програмування розподільного типу. Проаналізовано функцію прибутку з точки зору максимізації доходу та мінімізації енерговитрат. Для розрахунків числових характеристик та побудови графіків використано систему автоматизованого проектування MathCad. Розроблена модель може бути застосована для розподілу не лише енергетичних, а й довільних обмежених ресурсів підприємства.

Оптимізаційна модель, енергоресурси, прибуток.

Робота підприємства залежить від надійності забезпечення енергоресурсами. Запровадження надзвичайних заходів на ринку електричної енергії України в 2014 році передбачає виконання завдань з обмеження споживання електричної енергії та дотримання встановлених лімітів потужностей [3]. Встановлення лімітів на електричну енергію ставить завдання менеджерам підприємства оптимально використовувати доступні ресурси.

Активна енергозберігаюча політика відображена в Законі України «Про енергозбереження» [2], розпорядженнях Кабінету Міністрів України «Про схвалення енергетичної стратегії України на період до 2030 року»

© Г.М. КАЧУРІВСЬКА, В.О. КАЧУРІВСЬКИЙ, 2015

[7], «Про вжиття тимчасових надзвичайних заходів на ринку електричної енергії» [6] та ін.

Наукове обґрунтування і практичне застосування критеріїв ефективного споживання енергоресурсів на виробництві реалізуються в різних моделях управління підприємством: оптимізації споживання енергоресурсів, оптимального розподілу, зменшення споживання тощо Цієї проблематики стосуються дослідження Д.В. Бусарева, І.С. Герасимчука, М.М. Мітраховича [5], П.Д. Лежнюка [4], Б.М. Сердюка, Д.К. Турченка [9], В.С. Шевченка [8] та ін.

У праці [9] проаналізовано математичні методи та моделі, які використовуються з метою оптимізації розподілу ресурсів енергетичних підприємств, у [8] описано методіку вирішення двокритеріальної задачі розподільчого типу, а у праці [1] подано модель розподілу енергоресурсів в умовах недостачі потужностей.

Невирішеним залишається моделювання роботи підприємства в умовах надзвичайних заходів на ринку електричної енергії.

Мета досліджень – побудова математичної моделі розподілу ліміту електричної енергії між підрозділами підприємства для отримання максимального прибутку, яка є основою для енергетичного менеджменту підприємства.

Матеріали і методика досліджень. Підприємство споживає певну кількість електричної енергії, яка розподіляється між підрозділами підприємства, що випускають продукцію. Реалізація продукції формує дохід підприємства.

Нині, у зв'язку з недостатнім генеруванням електричної енергії в Україні, та вжиттям тимчасових надзвичайних заходів на ринку електричної енергії, підприємство повинно дотримуватися встановлених лімітів потужностей. Ймовірно є ситуація, що підприємство недоотримує необхідної потужності згідно із встановленими лімітами. Брак потужностей призводить до необхідності їх перерозподу між підрозділами. У праці [1] розглянуто питання використання джерела резервного живлення для компенсації потужностей з точки зору мінімізації затрат на виробництво енергії. Цей розподіл не завжди забезпечує отримання максимального прибутку. Тому, при моделюванні роботи підприємства в умовах обмеженості електричної енергії, паралельно потрібно розв'язувати задачу максимізації прибутку при мінімальних затратах на виробництво та приймати рішення про застосування певного розподілу енергії.

Результати досліджень. Розглянемо випадок, коли у підприємства відсутні потужності для компенсації недостачі електроенергії. Розв'язання цієї проблеми зводиться до відшукування розв'язку задачі лінійного програмування розподільного типу [3].

Якщо сумарні потужності споживачів перевищують встановлені ліміти на споживання, то ця система є незбалансованою. Для відшукування розв'язку задачі необхідно провести балансування потужностей. Для балансування системи введемо фіктивне джерело a_1 , яке постачає недостачу енергії.

При моделюванні задачі затрати та прибутки будемо вимірювати в у.о. на одиницю потужності [3].

Затрати на виробництво енергії фіктивним джерелом a_1 позначимо через $cZ_{1,j}$ та визначимо їх рівними нулю, а затрати на виробництво енергії фактичним джерелом a_0 відповідному споживачеві – через $cZ_{0,j}$, де $j = 0, 1, \dots, n$. У результаті ми отримуємо матрицю затрат $cZ = \begin{pmatrix} cZ_{0,0} & cZ_{0,1} & \dots & cZ_{0,n-1} & cZ_{0,n} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$, в якій перший рядок – це фактичні, а другий рядок – фіктивні затрати.

Оскільки у нас є два джерела постачання енергії a_0 та a_1 , то числові показники передачі потужностей до споживачів для першого джерела позначимо через $x_{0,j}$, а для другого (фіктивного) позначимо через $x_{1,j}$, де $j = 0, 1, \dots, n$.

Цільова функція затрат має такий аналітичний запис

$$fz(x, c) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^n x_{i,j} \cdot cZ_{i,j}. \text{ Розв'язок цієї моделі зводиться до знаходження}$$

мінімуму функції при обмеженнях, що визначаються кількостями енергії, необхідними підрозділам підприємства (матриця $solz$).

При знаходженні розв'язку відбудеться перерозподіл потужностей споживання між фактичним та фіктивним джерелами при мінімізації затрат на виробництво енергії. З нового розподілу визначаємо споживачів, які отримують потужності з фіктивного джерела, що дає змогу, виходячи з критерію мінімізації затрат, визначити яких із користувачів слід відключити на певний період від постачання електроенергії або зменшити потужності споживання.

Аналогічно, доходи виробництва при живленні від фіктивного джерела a_1 позначимо через $cP_{1,j}$ та визначимо їх рівними нулю, а доходи виробництва енергії від фактичного джерела a_0 до відповідного споживача – через $cP_{0,j}$, де $j = 0, 1, \dots, n$. У результаті ми отримуємо матрицю доходів

$$cP = \begin{pmatrix} cP_{0,0} & cP_{0,1} & \dots & cP_{0,n-1} & cP_{0,n} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \text{ Цільова функція доходу має}$$

$$\text{такий аналітичний запис } fp(x, cP) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^n x_{i,j} \cdot cP_{i,j}. \text{ Розв'язок такої моделі}$$

зводиться до знаходження максимуму цієї функції при обмеженнях, що визначаються кількостями енергії, які необхідні підрозділам (матриця $solp$).

Очевидним є те, що ми отримуємо дві матриці розподілу. Перша матриця це мінімізація витрат, друга – максимізація прибутку. Для прийняття рішення який із розподілів застосувати на підприємстві складемо різницю цільових функцій для знайдених розподілів ($solp$ та $solz$): $fp(solz) - fz(solz)$ та $fp(solp) - fz(solp)$. Перевагу слід надати

тому розподілу потужностей при якому значення різниці (між прибутком та затратами) буде більшою.

Розглянемо реалізацію описаної вище моделі в системі MathCAD. Нехай у підприємстві знаходяться такі сім цехів із споживаними потужностями відповідно. $b := (55 \ 75 \ 60 \ 100 \ 90 \ 40 \ 80)$

$$b := b^T$$

Дослідження будемо проводити для тридцять однієї точки з різними потужностями (параметр t). $k := 30 \ t := 0.. k$

Формуємо масив фактичних $a_{0,t}$ та фіктивних $a_{1,t}$ потужностей.

$$a_{0,t} := \sum b - t \cdot 10 \quad a_{1,t} := \text{if} \left(a_{0,t} < \sum b, \sum b - a_{0,t}, 0 \right)$$

Масив досліджуваних потужностей має значення.

a =							5	6	7	8	9	0
	00	90	80	70	60		50	40	30	20	10	00
		0	0	0	0		50	60	70	80	90	00

Додаткові параметри необхідні для алгоритмізації розв'язку:

$$M := \text{rows}(a) \quad N := \text{rows}(b) \quad i := 0.. M-1 \quad j := 0.. N-1$$

Модель 1. Мінімізація затрат. Нехай матриця затрат є такою.

$$cz := \begin{pmatrix} 1.2 & 1.0 & 1.4 & 1.1 & 1.1 & 1.2 & 1.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{Цільова функція затрат } fz(x) := \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} cz_{i,j} x_{i,j} \quad (1)$$

$$x_{i,j} := 0$$

Початкова матриця розподілу потужностей

Розв'язок оптимізаційної задачі будемо проводити за допомогою розв'язуючого блока Given та функції Minimize.

Given

$$\sum_j x_{10,j} = a_{0,t} \quad \sum_j x_{11,j} = a_{1,t}$$

$$x_{10,0} + x_{11,0} = b_0 \quad x_{10,1} + x_{11,1} = b_1 \quad x_{10,2} + x_{11,2} = b_2$$

$$x_{10,3} + x_{11,3} = b_3 \quad x_{10,4} + x_{11,4} = b_4 \quad x_{10,5} + x_{11,5} = b_5$$

$$x_{10,6} + x_{11,6} = b_6$$

Формуємо систему обмежень на розрахункові потужності $x_{i,j}$.

$$x_{0,0} \geq 0 \quad x_{0,1} \geq 0 \quad x_{0,2} \geq 0 \quad x_{0,3} \geq 0 \quad x_{0,4} \geq 0 \quad x_{0,5} \geq 0 \\ x_{0,6} \geq 0 \quad (2)$$

$$x_{1,0} \geq 0 \quad x_{1,1} \geq 0 \quad x_{1,2} \geq 0 \quad x_{1,3} \geq 0 \quad x_{1,4} \geq 0 \quad x_{1,5} \geq 0 \\ x_{1,6} \geq 0$$

Розв'язок системи $\text{solz}_t := \text{Minimize} (fz, x)$.

Модель 2. Максимізація доходу. Нехай матриця доходів буде такою.

$$cp := \begin{pmatrix} 1.2 & 1.3 & 1.45 & 1.4 & 1.2 & 1.2 & 1.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Цільова функція прибутку

$$fp(x) := \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} cp_{i,j} x_{i,j} \quad (3)$$

Початкова матриця розподілу потужностей $x_{1,i,j} := 0$.

Умови постачання енергії до споживача b_i від джерел енергії a_0 та a_1 , а також система обмежень на розрахункові потужності $x_{i,j}$ такі ж, як і в моделі 1.

Розв'язок системи $\text{solp}_t := \text{Maximize} (fp, x1)$

Конструюємо функції прибутку підприємства за критерієм мінімізації затрат:

$$Pz_t := fp(\text{solz}_t, 0) - fz(\text{solz}_t, 0)$$

Конструюємо функцію прибутку підприємства за критерієм максимізації доходу:

$$Pp_t := fp(\text{solp}_t, 0) - fz(\text{solp}_t, 0)$$

Функція різниці (F) між прибутком за мінімізацією затрат та прибутком за максимізацією доходу має вигляд: $F_t := Pz_t - Pp_t$.

Графічне зображення цих функцій наведено на рис.1. Крива прибутку підприємства за критерієм мінімізації затрат (Pz) відображається суцільною лінією, а крива прибутку підприємства за критерієм максимізації доходу (Pp) відображається пунктирною лінією. Значення функції (F) зображено прямокутниками.

Для прийняття рішення з розподілу потужностей за початковим значенням встановленого ліміту визначаємо наступну частину документа.

Нехай визначений ліміт споживання електроенергії становить $PP=400$. Здійснимо пошук точки N у матриці a розподілу потужностей за допомогою функції `match`.

$$PP := 400 \quad s := \text{match}(400, a) \quad q := s_{0,0} \quad N := q_{1,0} \quad N = 10$$

Функція максимального прибутку в точці $N=10$.

$$G(x) := \text{if}(Pz_x > Pp_x, Pz_x, Pp_x) \quad G(N) = 64.5$$

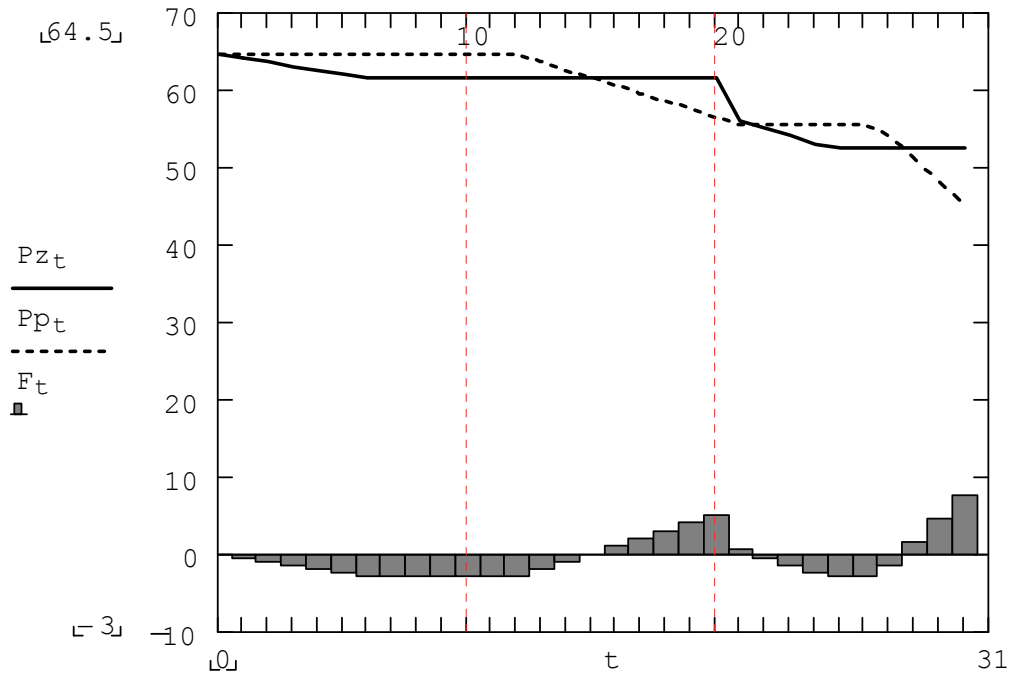


Рис.1. Графічне зображення функцій Pz , Pp , F

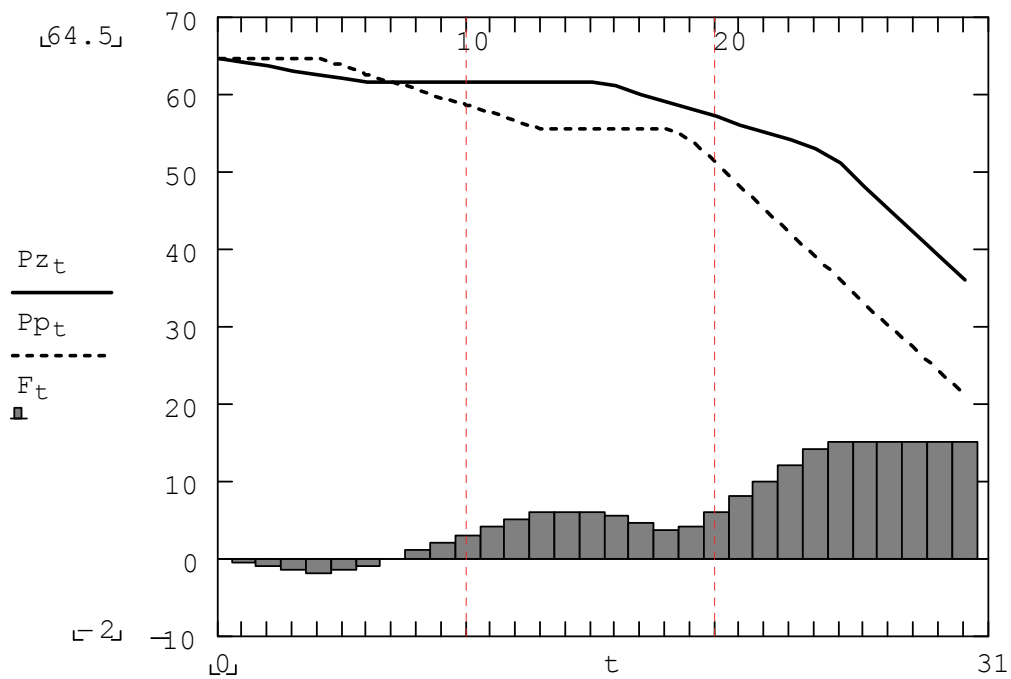


Рис.2. Графічне відображення функцій при умові $x_{0,6}=80$

Отже, величина прибутку становить 64.5 умовних одиниць. Функція визначення матриці розподілу потужностей має таку конструкцію:

$$R(x) := \text{if}(Pz_x > Pp_x, \text{sol}z_x, 0, \text{sol}p_x, 0)$$

$$R(N) = \begin{pmatrix} 55 & 75 & 60 & 100 & 90 & 20 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 & 80 \end{pmatrix}$$

Отже, при ліміті споживання електричної енергії $P_P=400$ та недостачі в 100 розподіл потужностей, при якому отримуємо максимальний прибуток має такі значення: 55, 75, 60, 100, 90, 20, 80. За цим розподілом потужності шостого цеху електроенергією повинні зменшитися на половину від номінального споживання, а сьомого цеху повністю припинитися.

Розглянемо випадок, коли сьомий цех випускає стратегічний вид продукції. У цьому випадку відключення його від енергоспоживання є неприпустимим. Тому, в блоку обмежень на розподіл потужностей (2) запишемо таку умову $x_{0,6}=80$. Тобто постачання повинно бути рівним номінальній потужності споживання. Отримуємо такі розрахунки за визначених початкових значень.

Прибуток $G(10) = 61.5$!

Розподіл потужностей має таке значення

$$R(10) = \begin{pmatrix} 55 & 75 & 0 & 100 & 90 & 0 & 80 \\ 0 & 0 & 60 & 0 & 0 & 40 & 0 \end{pmatrix}!$$

Отже, при ліміті споживання електричної енергії $P_P=400$ та недостачі в 100 за умови надання повної потужності цеху №7 розподіл потужностей, при якому отримуємо максимальний прибуток, має такі значення: 55, 75, 0, 100, 90, 0, 80. Цех №7 повністю забезпечений потужностями електроенергії, а цех №3 та №6 повинні бути відключені від споживання.

Висновки. Розроблена модель дає можливість прийняти рішення для можливого розподілу електричної енергії на підприємстві, за умов встановлених лімітів та відсутності компенсуючого джерела енергії з метою забезпечення максимального прибутку підприємства.

Список літератури

1. Бунько В.Я. Модель оптимізації роботи джерела резервного живлення / В.Я. Бунько, Г.М. Качурівська, В.О. Качурівський // Енергетика і автоматика. – 2013. – № 2. – С. 43–48.

2. Закон України «Про енергозбереження» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/go/74/94-вр>.

3. Іноземцев Г.Б. Математичне моделювання та оптимізація систем електропостачання у сільському господарстві / Г.Б. Іноземцев, В.В. Козирський. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2010. – 144 с.

4. Лежнюк П.Д. Принцип найменшої дії в задачах оптимізації електроенергетичних систем / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, В. В. Нетребський // Технічна електродинаміка: Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – 2006. – Ч. 3. – С. 35-41.

5. Мітрахович М.М. Методика розрахунку основних показників енергоефективності підприємства / М.М. Мітрахович, І.С. Герасимчук. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.bwgc.ru/portal/natural/Nt/2009_3/20.pdf.

6. Про вжиття тимчасових надзвичайних заходів на ринку електричної енергії [Електронний ресурс] / Розпорядження Кабінету Міністрів України від 1.10.2015р. №915-р. – Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=247664107>.

7. Про схвалення енергетичної стратегії України на період до 2030 року [Електронний ресурс] / Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 р. № 145-р. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-p>.

8. Селезньова О.О. Дослідження двокритеріальної транспортної задачі / О.О. Селезньова, В.С. Шевченко // Сборник докладов за матеріалами III Всеукраїнської науч.-практ. конф. «Інформаційні технології та автоматизація – 2010», Одеса, 14–15 жовтня 2010г. – Одеса, 2010. – С. 49–50.

9. Турченко Д.К. Оцінка ефективності економіко-математичного моделювання процесів управління енергоресурсами / Д.К. Турченко // Наукові праці ДонНТУ. Серія: економічна. – 2013. – Вип. 32. – С. 154–157.

Проведено математичне моделювання розподілу обмежених енергетичних ресурсів між структурними підрозділами підприємства з метою отримання максимальної прибутку. Дану модель сформульовано як задачу математичного програмування розподільного типу. Проаналізовано функцію прибутку з точки зору максимізації доходу та мінімізації енергозатрат. Для розрахунку числових характеристик та побудови графіків використано систему автоматизованого проектування MathCad. Розроблена модель може бути використана для розподілу не тільки енергетичних, але й довільних обмежених ресурсів підприємства.

Оптимізаційна модель, енергоресурси, прибуток.

An mathematical modeling of the allocation of limited energy resources between departments of the company in order to maximize profits. This model is formulated as a mathematical programming problem distribution type. Analyzed the function of profit in terms of maximizing revenue and minimizing energy consumption. To calculate the numerical descriptions and charting system used automated designing MathCad. The model can be used for distribution of not only energy, but also arbitrary limited resources company.

Optimization model, energy, profits.

ЭКОНОМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНАЯ ОСУШИТЕЛЬНАЯ ГИДРОМЕЛИОРАЦИЯ С УЧЁТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ УЧАСТКОВ ЗЕМЕЛЬ

**А.В. ДУБРОВИН, доктор технических наук
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства», г. Москва**

Рассмотрены новые возможности информатизации и автоматизации технологий в мелиорации. Предложен метод управления процессами гидромелиорации в автоматизированном режиме по технико-экономическому критерию.

Информационные технологии при автоматизации технологических процессов, эффективность производства, технико-экономический параметр.

Экономический критерий (признак) управления является общепризнанным. По своему существу – это всеобъемлющий показатель эффективности (результативности) мелиорации участков территории. Его правильное применение требует достаточно точного учёта хотя бы основных общеизвестных его составляющих, наиболее сильно влияющих на результативность (эффективность) конкретного технологического процесса мелиорации. Однако в практике управления процессами мелиорации, в том числе процессом прокладки и рытья мелиоративных каналов, экономический критерий до сих пор необоснованно не применяется.

Мелиорация (лат. *melioratio* – улучшение) – комплекс организационно-хозяйственных и технических мероприятий по улучшению гидрологических, почвенных и агроклиматических условий с целью повышения эффективности использования земельных и водных ресурсов для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Мелиорация отличается от обычных агротехнических приёмов длительным и более интенсивным воздействием на объекты мелиорации [2]. Различают такие типы и виды мелиорации:

- гидромелиорация: оросительная; осушительная; противопаводковая; противоселевая; противозрозионная; противооползневая;
- агролесомелиорация: противозрозионная (защита земель от эрозии путем создания лесных насаждений на оврагах, балках, песках, берегах рек и других территориях); полезащитная (защита земель от воздействия неблагоприятных явлений природного, антропогенного и техногенного происхождения путем создания защитных лесных

насаждений по границам земель сельскохозяйственного назначения); пастбищезащитная – предотвращение деградации земель пастбищ путем создания защитных лесных насаждений;

- культуртехническая мелиорация: расчистка мелиорируемых земель от древесной и травянистой растительности, кочек, пней и мха, камней и иных предметов; мелиоративная обработка солонцов; рыхление, пескование, глинование, землевание, плантаж и первичная обработка почвы; проведение иных культуртехнических работ;
- химическая мелиорация: известкование, фосфоритование, гипсование.

Основная цель рыночной экономики – получение производственной прибыли, т.е. разницы между ценой реализации продукции (стоимостью растений и мясной продуктивности выпасаемого на мелиорируемых пастбищах скота, стоимостью произведённой продукции в ценах реализации) и затратами на её производство (себестоимостью производства продукции растениеводства и животноводства). Себестоимость равна сумме эксплуатационных затрат, в том числе затрат на мелиорацию, и в случае мелиорации земель также дополнительных затрат на корма и на кормовые добавки. Управлять сельскохозяйственным объектом надо сразу по величинам технико-экономических критериев: по текущей во времени технологического процесса мгновенной (обычно – по суточной) величине прибыли, или по величине себестоимости производства. Тогда при нормальном ходе технологии, в отсутствие обстоятельств форс-мажора, появляется обоснованная убеждённость в наилучшем конечном экономическом результате производства продукции, поскольку управление этим производством осуществлялось экономически оптимальным образом. Доказательству практической возможности такого автоматизированного экономически оптимального управления технологическими процессами на примере птицеводства посвящены многочисленные патенты РФ [3, 4 и др.], приводимые в книге автора [1].

Всё указанное в значительной степени относится и к процессу мелиорации (далее – к гидромелиорации, точнее, к процессу осушения земель). Можно также в числах, т.е. научно, оценить вред, нанесённый природе и отдыхающим и промысляющим в местах проведённой мелиорации людям.

Цель исследований – поиск для технологических режимов осушения (орошения) экономически наилучших (экономически оптимальных) значений хозяйственного критерия, при осуществлении которых на практике результат управления процессом окажется наилучшим с хозяйственной точки зрения.

Материалы и методика исследований. Современный уровень автоматического и автоматизированного управления процессами мелиорации весьма высок. При этом возможна новая разработка самых передовых путей (методов) совершенствования мелиорации в качестве указанного в приведённом определении «комплекса организационно-

хозяйственных и технических мероприятий. Если цена реализации равна всего лишь произведению объёма выпущенной продукции (прибавка урожая, рост мясной продуктивности выпасаемого скота, экологические и эстетические преимущества мелиорируемых земель и т.п.) на её удельную цену (на расценки), то себестоимость производства продукции включает в себя множество различных составляющих. Для процесса, связанного в основном с достаточно важным уже в настоящее время экологическим вредом природе, этот экономический признак эффективности есть изначально суммой стоимостей потерь экологии участка территории и традиционных эксплуатационных затрат на мелиорацию. Эксплуатационные затраты включают в себя стоимость энергии различных видов, зарплату обслуживающего и руководящего персонала, также амортизационные, реновационные, ремонтные отчисления на капитальные вложения (на стоимость зданий, оборудования, измерительных приборов и т.п.), транспортные расходы и многое другое.

С основной технологической характеристикой осушительной гидромелиорации (упрощённо – с глубиной дренажного канала) связана цена капитальных вложений (цена экскаваторов, грейдеров и т.п.). В состав эксплуатационных затрат и себестоимости она входит в виде суммы амортизационных, реновационных, ремонтных отчислений на капитальные вложения (на стоимость экскаваторов, грейдеров и т.п.). Поэтому такой сокращённый по своему составу экономический признак себестоимости может достаточно полноценно, с приемлемой точностью, определять текущую во время действия технологического процесса (например, процесса осушения земель в гидромелиорации) результирующую экономическую эффективность производства. Его с учётом других составляющих прибыли как раз и определяют плановый отдел и бухгалтерия любого, в том числе и гидромелиоративного предприятия по окончании основного производственного процесса рытья дренажных каналов, или сопутствующего ему процесса. Однако такое определение этого критерия после окончания технологического процесса явно опаздывает: в ходе процесса он не применялся, и проведение процесса происходило по каким-то другим критериям. Обыкновенно они более наглядны и просты по составу и сущности, и в основном основаны на профессиональной интуиции. Поэтому на практике часто оказываются большие экономические потери производства, неуправляемого именно по его естественному чисто экономическому принятому признаку.

Результаты исследований. Экономически оптимальная осушительная гидромелиорация с учётом экологической ценности участков земель осуществляется следующим образом (рис. 1).

C , Энерг, ΔPr , $a_{\Sigma}C_{осуш}$, $a_{\Sigma}C_{компл}$, руб./ед. времени;
 $a_{\Sigma} = a_{ам} + a_{рем} + a_{рен}$, (1/ед. времени)
 C , Энерг, ΔPr , $a_{\Sigma}C_{осуш}$, $a_{\Sigma}C_{компл}$, руб./ед. времени;
 $a_{\Sigma} = a_{ам} + a_{рем} + a_{рен}$, (1/ед. времени)

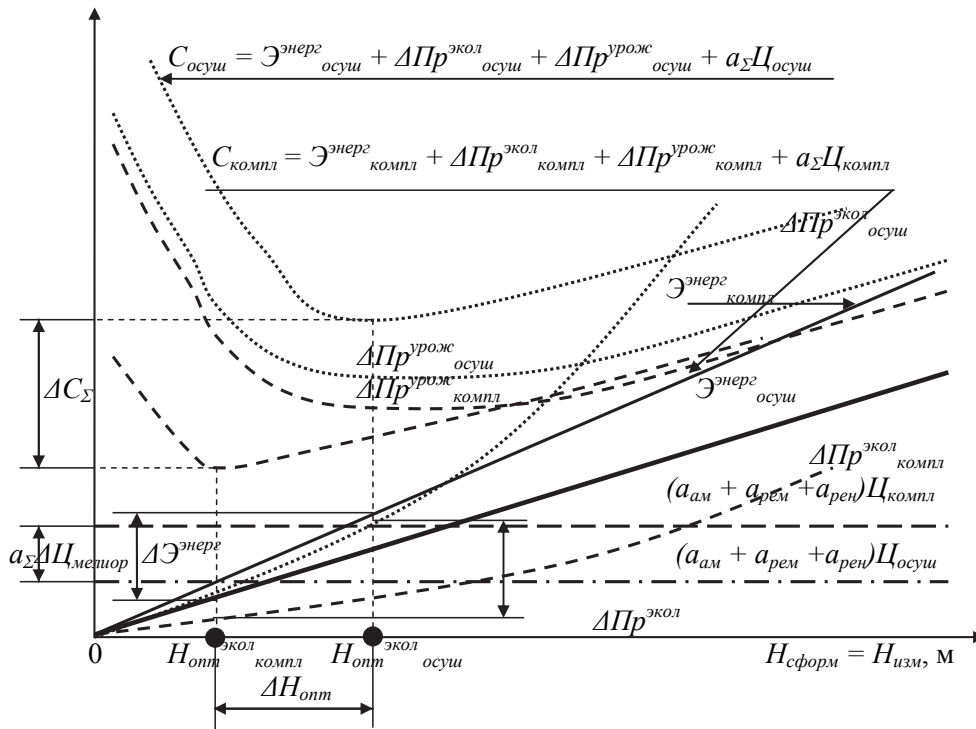


Рис. 1. Схема осуществления экономически оптимальной осушительной гидромелиорации с учётом экологической ценности участков земель:

$H_{изм}$ – измеренный сигнал глубины гидромелиоративного осушительного канала, м; $H_{сформ}$ – сформированный сигнал глубины гидромелиоративного осушительного канала, м, значения измеренного и сформированного сигналов глубины в одинаковых условиях технологического процесса должны быть равными: $H_{сформ} = H_{изм}$; $\mathcal{E}_{энерг}$ – зависимость стоимости энергетических затрат мелиораторов на проведение осушения выбранного участка местности от сформированного сигнала $H_{сформ}$, руб./ед. времени; $\Delta Pr^{экол}$ – зависимость стоимости экологических потерь (растений и животных мелиорируемого участка территории ландшафта) от сформированного сигнала $H_{сформ}$, руб./ед. времени; $\Delta Pr^{урож}$ – зависимость стоимости потерь урожая на мелиорируемом участке территории ландшафта от сформированного сигнала $H_{сформ}$, руб./ед. времени; C – зависимость себестоимости продукции после мелиорации от сформированного сигнала глубины гидромелиоративного осушительного канала, руб./ед. времени, $C = \mathcal{E}_{энерг} + \Delta Pr^{экол} + \Delta Pr^{урож} + a_{\Sigma}C_{изм}^{нов}$; $a_{\Sigma}C_{осуш}$ – сумма амортизационных отчислений, отчислений на ремонт и на реновацию оборудования для осушения с невысокой старой ценой $C_{осуш}$, руб./ед. времени; $a_{\Sigma}C_{компл}$ – сумма амортизационных отчислений, отчислений на ремонт и на реновацию оборудования для комплексной мелиорации с высокой новой ценой $C_{компл}$, руб./ед. времени; $a_{\Sigma} = a_{ам} + a_{рем} + a_{рен}$ – суммарный коэффициент отчислений на капитальные вложения в оборудование, отн. ед.; $a_{ам}$ – коэффициент амортизации капитальных вложений, отн. ед.; $a_{рем}$ – коэффициент

отчислений на текущий ремонт, отн. ед.; $a_{рен}$ – коэффициент отчислений на реновацию (на капитальный ремонт), отн. ед.; $H_{опт}^{экол}_{осуш}$ – сформированный сигнал экономически оптимальной глубины гидромелиоративного осушительного канала только при осушении, м; $H_{опт}^{экол}_{компл}$ – сформированный сигнал экономически оптимальной глубины гидромелиоративного осушительного канала при комплексной мелиорации, м; $a_{\Sigma}\Delta C_{мелиор}$ – различие между суммарными отчислениями на капитальные вложения в оборудование для комплексной мелиорации и в оборудование только для осушительной гидромелиорации, руб./ед. времени; $\Delta H_{опт}$ – различие между экономически оптимальными значениями глубины гидромелиоративного осушительного канала при переходе от только осушения к комплексной мелиорации, м; ΔC_{Σ} – выигрыш в результирующей себестоимости процесса экономически оптимальной гидромелиорации при переходе от только осушения к комплексной мелиорации, руб./ед. времени; $\Delta Pr^{экол}$ – экологический выигрыш при переходе от экономически оптимального только осушения к экономически оптимальной комплексной мелиорации, руб./ед. времени; $\Delta \mathcal{E}^{энерг}$ – стоимость дополнительных энергетических затрат при переходе от экономически оптимального только осушения к экономически оптимальной комплексной мелиорации, руб./ед. времени

Общий вид зависимостей постоянных затрат отчислений на капитальные вложения: $a_{\Sigma}C_{осуш}(H_{сформ}) = const_1$, $a_{\Sigma}C_{компл}(H_{сформ}) = const_2$. Зависимости энергозатрат $\mathcal{E}^{энерг}_{осуш}(H_{сформ})$ и $\mathcal{E}^{энерг}_{компл}(H_{сформ})$ растут линейно с ростом $H_{сформ}$. Зависимости стоимости потерь урожая $\Delta Pr^{урож}_{осуш}$ и $\Delta Pr^{урож}_{компл}$ имеют каждая свой минимум, поскольку с увеличением глубины канала при его малых глубинах потери урожая уменьшаются из-за отвода излишней воды с полей, а при больших глубинах канала происходит чрезмерное осушение участка территории и потери урожая возрастают.

Математическая зависимость для проведения имитационного компьютерного моделирования может быть построена по соответствующим экспериментальным и практическим данным и в целом может иметь следующий или аналогичный общий вид: $\mathcal{E}^{энерг}(T) = PZ^{(-HT + X)} + M$. При реальных технологических значениях глубины канала зависимость пропорциональная нелинейная, т.е. чем больше глубина канала, тем больше экологические потери $\Delta Pr^{экол}_{осуш}$ и $\Delta Pr^{экол}_{компл}$ по сравнению с естественным ландшафтом. При комплексной мелиорации потери урожая и экологии всегда меньше, чем при простом осушении, за исключением энергетических затрат.

Устройство управления глубиной мелиоративного канала (рис. 2) работает следующим образом. По сигналу задатчика сигнала номера участка для осушения или для комплексной мелиорации (задатчик географического расположения участка в климатической и почвенной зоне территории страны) 9 выбирается участок. С расположением этого участка связаны экологические потери и потери урожая при проведении осушения или комплексной мелиорации. Эти потери описываются математическими количественными зависимостями с принятыми коэффициентами у значащих математических величин влияющих факторов воздействия.

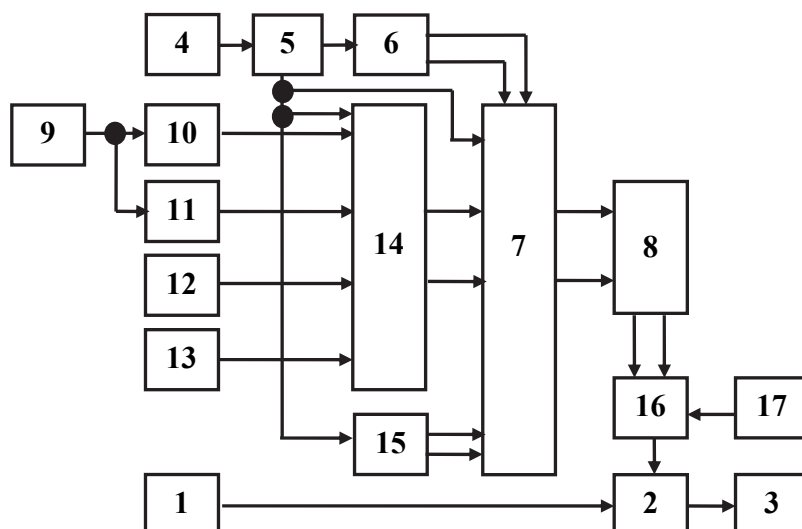


Рис. 2. Функциональная схема устройства экономически оптимальной осушительной гидромелиорации:

1 – измеритель сигнала глубины гидромелиоративного осушительного канала; 2 – регулятор глубины гидромелиоративного осушительного канала; 3 – исполнительный элемент регулирования глубины гидромелиоративного осушительного канала; 4 – формирователь сигнала глубины гидромелиоративного осушительного канала; 5 – блок периодического сканирования (развёртки) диапазона изменения сформированного сигнала глубины гидромелиоративного осушительного канала от минимально допустимого до максимально допустимого заданного значения этого сигнала; 6 – формирователь сигнала зависимостей стоимостей энергетических затрат при осушении и при комплексной мелиорации; 7 – вычислительный блок; 8 – блок управления; 9 – задатчик сигнала номера участка для осушения или для комплексной мелиорации (задатчик географического расположения участка в климатической и почвенной зоне территории страны); 10 – задатчик коэффициентов математических моделей зависимостей стоимостей экологических потерь от сформированного сигнала глубины гидромелиоративного осушительного канала при осушении и при комплексной мелиорации; 11 – задатчик коэффициентов математических моделей зависимостей стоимостей потерь урожая от сформированного сигнала глубины гидромелиоративного осушительного канала при осушении и при комплексной мелиорации; 12 – задатчик прогнозируемого значения среднегодовой температуры; 13 – задатчик прогнозируемого значения среднегодовой инсоляции (солнечного излучения); 14 – формирователь сигналов зависимостей стоимостей экологических потерь, зависимостей стоимости потерь урожая от сформированного сигнала глубины гидромелиоративного осушительного канала при осушении и при комплексной мелиорации; 15 – задатчик сигнала амортизационных отчислений, отчислений на ремонт и на реновацию двух видов оборудования для осушения и комплексной мелиорации; 16 – двухвходовый управляемый ключ; 17 задатчик сигнала выбора направления работ по осушению или по комплексной мелиорации

Численные количественные значения этих коэффициентов задаются в соответствии задатчике коэффициентов математических моделей зависимостей стоимостей экологических потерь от сформированного сигнала глубины гидромелиоративного осушительного канала при осушении и при комплексной мелиорации 10 и в задатчике коэффициентов математических моделей зависимостей стоимостей потерь урожая от сформированного сигнала глубины гидромелиоративного осушительного канала при осушении и при комплексной мелиорации 11. На расчётные значения среднегодовых потерь также влияют среднегодовые значения температуры наружного воздуха и интенсивности солнечного излучения. Они задаются задатчиком прогнозируемого значения среднегодовой температуры 12 и задатчиком прогнозируемого значения среднегодовой инсоляции (солнечного излучения) 13 и формируются в формирователе сигналов зависимостей стоимостей экологических потерь, зависимостей стоимости потерь урожая от сформированного сигнала глубины гидромелиоративного осушительного канала при осушении и при комплексной мелиорации 14. Суммирование постоянных затрат на обслуживание капитальных вложений в оборудование происходит посредством задатчика сигнала амортизационных отчислений, отчислений на ремонт и на реновацию двух видов оборудования для осушения и комплексной мелиорации 15. Теперь к изменяющимся значениям потерь следует добавить переменные энергозатраты, что осуществляется формирователем сигнала зависимостей стоимостей энергетических затрат при осушении и при комплексной мелиорации 6 в вычислительном блоке 7. Блок управления 8 вырабатывает сигналы оптимальных глубин каналов при только осушении и при комплексной мелиорации. Выбор направления работ только по осушению и по комплексной мелиорации производится посредством двухходового управляемого ключа 16, режим соединения которому навязывается задатчиком сигнала выбора направления работ по осушению или по комплексной мелиорации 17.

Выводы. Предложен метод управления процессами мелиорации по экономическому критерию. В результате его осуществления в процессе осушительной гидромелиорации автоматически устанавливается экономически оптимальная глубина канала с учётом данных по экологии, климатологии выбранного для мелиорации участка территории. При наличии точных математических моделей потерь по урожаю, экологии, энергии на проведение мелиорации производится точное автоматическое экономически наилучшее управление технологическим процессом принятого вида мелиорации, или это простое осушение, либо сложная комплексная мелиорация. В последнем случае за счёт повышенных затрат энергии достигается наивысшая урожайность при приемлемом уровне экологии территории.

Список литературы

1. Дубровин А.В. Основы автоматизированного управления технологическими процессами в птицеводстве по экономическому критерию / А.В. Дубровин. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2013. – 292 с.

2. Мелиорация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 04.08.2014 г.).

3. Пат. 2229155 Российская Федерация. Способ и устройство экономичного общего обогрева животноводческого помещения и локального обогрева сельскохозяйственных животных / А.В. Дубровин А.В., Краусп В.Р. – №2003110342; заявл. 11.04.2003; опубл. 20.05.2004, Бюл. №14.

4. Пат. 2490875 Российская Федерация. Способ и устройство экономичной пастыбы в пастбищном животноводстве / Дубровин А.В., Шевцов В.В., Шевцов В.В. – № 2011143938/13; заявл. 31.10.2011; опубл. 27.08.2013, Бюл. №24.

Розглянуто нові можливості інформатизації та автоматизації технологій в меліорації. Запропоновано метод керування процесами гідромеліорації в автоматизованому режимі за техніко-економічним критерієм.

Інформаційні технології при автоматизації технологічних процесів, ефективність виробництва, техніко-економічний параметр.

To explore new avenues of information and automation technologies in hydromelioration. The method of process control hydromelioration out automatically on technical and economic criteria..

Information technology in automation of technological processes, production efficiency, feasibility parameter.

УДК662.767

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ СИРОВИНИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ ІЗ ДЕРЕВИНИ

***О.О. ОПРИШКО, кандидат технічних наук
Н.О. ОПРИШКО, кандидат сільськогосподарських наук
І.С.ЗУБКОВ, студент***

Досліджено вплив складу деревини (стовбура, гілок та кори) на процес горіння паливних гранул із сосни. Встановлено, що наявність у складі гранул саме кори призводить до зростання тривалості згорання коксової частини гранули.

Паливні гранули, процес горіння, склад сировини.

Модернізоване паливо з біомаси, тобто гранули та брикети набувають все більшу популярність у нашій країні. Дослідження щодо використання паливних брикетів проводились із часів СРСР, проте ці продукти передусім розглядали з позиції раціонального використання відходів [1–3]. У 2014 році

© О.О.ОПРИШКО, Н.О.ОПРИШКО, І.С.ЗУБКОВ, 2015

2. Мелиорация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 04.08.2014 г.).

3. Пат. 2229155 Российская Федерация. Способ и устройство экономичного общего обогрева животноводческого помещения и локального обогрева сельскохозяйственных животных / А.В. Дубровин А.В., Краусп В.Р. – №2003110342; заявл. 11.04.2003; опубл. 20.05.2004, Бюл. №14.

4. Пат. 2490875 Российская Федерация. Способ и устройство экономичной пастыбы в пастбищном животноводстве / Дубровин А.В., Шевцов В.В., Шевцов В.В. – № 2011143938/13; заявл. 31.10.2011; опубл. 27.08.2013, Бюл. №24.

Розглянуто нові можливості інформатизації та автоматизації технологій в меліорації. Запропоновано метод керування процесами гідромеліорації в автоматизованому режимі за техніко-економічним критерієм.

Інформаційні технології при автоматизації технологічних процесів, ефективність виробництва, техніко-економічний параметр.

To explore new avenues of information and automation technologies in hydromelioration. The method of process control hydromelioration out automatically on technical and economic criteria..

Information technology in automation of technological processes, production efficiency, feasibility parameter.

УДК662.767

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ СИРОВИНИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ ІЗ ДЕРЕВИНИ

***О.О. ОПРИШКО, кандидат технічних наук
Н.О. ОПРИШКО, кандидат сільськогосподарських наук
І.С.ЗУБКОВ, студент***

Досліджено вплив складу деревини (стовбура, гілок та кори) на процес горіння паливних гранул із сосни. Встановлено, що наявність у складі гранул саме кори призводить до зростання тривалості згорання коксової частини гранули.

Паливні гранули, процес горіння, склад сировини.

Модернізоване паливо з біомаси, тобто гранули та брикети набувають все більшу популярність у нашій країні. Дослідження щодо використання паливних брикетів проводились із часів СРСР, проте ці продукти передусім розглядали з позиції раціонального використання відходів [1–3]. У 2014 році

© О.О.ОПРИШКО, Н.О.ОПРИШКО, І.С.ЗУБКОВ, 2015

ситуація на енергоринку країні кардинально змінилася через проведення бойових дій у місцях видобутку вугілля на Донбасі. Це сприяло широкому впровадженню на підприємствах котлів на твердому паливі, зокрема на гранулах із біомаси, тобто використання місцевих ресурсів.

Слід зазначити, що питання оптимального складу гранул є дискусійними. Так у [4] вказано, що наявність у гранулах сировини з кори та гілок збільшує зольність та зменшує калорійність палива, а в [5] навпаки стверджується, що наявність кори в складі гранул підвищила ефективність печі. При цьому в дослідженнях визначали калорійність, зольність палива, а для питань автоматизації котлів необхідно визначити і тривалість горіння гранул. Оскільки при заготівлі та переробці ділової деревини залишається велика кількість кори, вивчення доцільності їх переробки в паливні гранули являє практичний інтерес.

Мета досліджень – встановлення залежності між складом гранул та тривалістю горіння окремих гранул.

Матеріали та методика досліджень. Для проведення досліджень у травні 2014 року при заготівлі соснової ділової деревини було окремо отримані зразки кори, тирси із стовбуру та подрібнених гілок, діаметр яких становив від 40 до 20 мм. В усіх випадках хвоя була виділена. Всі зразки були отримані з одного дерева, вік якого 38 – 40 років. Протягом 4 міс зразки просушували на відкритому повітрі в приміщенні ангара без впливу прямого сонячного світла при температурі 20 ± 8 °С. Товщина шару становила не більше ніж 2 см, протягом сушіння зразки періодично перемішувались для запобігання загнивання. В жовтні 2014 року із зразків згідно із стандартом DIN 51731 (Німеччина) на промисловому обладнанні було отримано гранули діаметром 8 мм. Для дослідів використовували зразки вагою $0,6 \pm 0,05$ г. Перед проведенням досліджень зразки були додатково просушені в термічній шафі при температурі 100 °С протягом 12 год. Для проведення досліджень також були використані стандартні зразки побутових гранул (діаметр 8 мм), які не мали в своєму складі хвої, кори та гілок.

Дослідження проводили в установці, створеній на базі муфельної печі. Установка дозволяла змінювати температуру в камері в діапазоні 100 – 900 °С. У верхній частині установки був наявний отвір діаметром 12 мм, крізь який до камери поміщали досліджуваній зразок на сталевому підвісі та виходив дим. У задній частині був технологічний отвір для доступу повітря. Температуру контролювали за допомогою терморпарі, відстань від якої до зразка була близько 5 см.

Процес горіння спостерігали крізь спеціальний отвір у дверцях шафи. Оскільки досліджувані зразки мали малі геометричні розміри і діаметр отвору для спостереження становив близько 10 мм, спостереження здійснювали за допомогою відеокамери. Окремо фіксувався час піролізного горіння, тобто час коли гранула була охоплена полум'ям, та час горіння коксу, тобто час від зникання полум'я до припинення випромінювання світла зразком в оптичному діапазоні. Після згорання зразка підвіс вилучали з камери згорання і протягом 0,5 хв провітрювали камеру. В разі механічної руйнації зразка під час внесення в камеру дослідження припиняли. Для кожної групи гранул

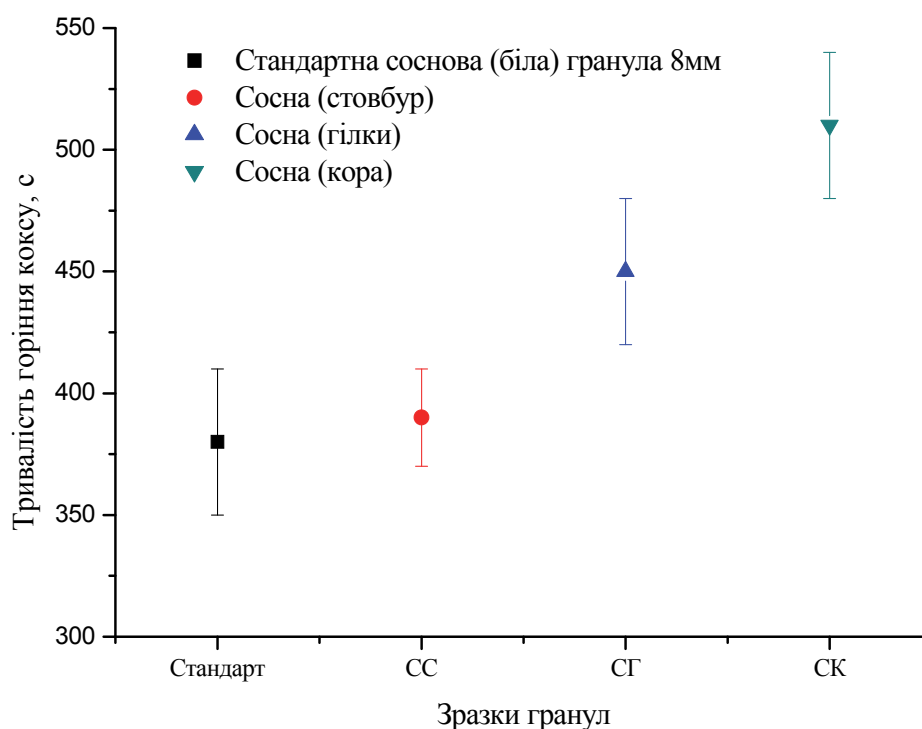
виконували 4 дослідження зразків. Після встановлення необхідної температури розміщували новий зразок. Температуру, під час якої починається самозаймання зразка, було визначено під час додаткового калібрувального дослідження. Було встановлено, що починаючи з 500 °С після прогріву зразка відбувається самозаймання. Із збільшенням температури час займання зменшується, і при значенні 700 °С термін самозаймання становив кілька секунд. Тому, при дослідженнях у камері підтримували температуру 700±20 °С.

Додатково було визначено загальну вологість зразків (згідно з ISO 589-81), їх щільність (ГОСТ2160-92) та відсоток маси, що припадає на зольні речовини (згідно з ISO1171-81).

Результати досліджень. У таблиці наведено відповідні показники паливних гранул.

Показники паливних гранул

Зразок	Зольність, % маси	Вологість, %	Щільність, г/см ³
Стовбур сосни	0,38	6,9	1,2
Гілля сосни	2,4	8,1	1,0
Кора сосни	3,5	9,5	1,1
Стандартний з сосни (побутовий)	0,40	7,2	1,2



Залежність тривалості горіння коксу від складу паливних гранул

Із наведених даних видно, що стандартна технологія створення гранул дозволила отримати зразки, виготовлені із гілок та кори з практично тією самою щільністю ніж із зразків, отриманих із тирси стовбура сосни. Дані щодо зольності зразків підтвердили дані [4].

При дослідженні поведінки зразків під час їх перетворення в золу, було встановлено, що час піролізу для усіх зразків становив від 50 до 55

с. При цьому, враховуючи те, що час розміщення зразка в камері міг відрізнятись до 2 с, було зроблено висновок про фактичну відсутність залежності між складом гранул та часом піролізу для соснових гранул.

На рисунку показано час, протягом якого відбувається розкладання коксу, утвореного з паливних гранул.

Із наведених результатів видно, що наявність кори в складі паливних гранул призводить до зростання тривалості горіння за рахунок довшого згорання саме коксу. Так, проміжний результат для гранул із гілок сосни пояснюється наявністю в її складі саме кори.

Висновки. Час піролізного горіння практично не залежить від того, з якої частини деревини було створено гранули.

Наявність кори в складі палива може збільшити тривалість горіння його коксової частини на третину.

Кора та гілки деревини є перспективним матеріалом для створення паливних брикетів для печей та камінів, де потрібний неінтенсивний, а тривалий процес тління.

Список літератури

1.К оценке энергетической эффективности использования биомассы в сельском хозяйстве / В.А. Колос, Ю.Н. Сапьян, В.Б. Ловкис, А.П. Курто // Агропанорама. – 2010. – № 1. – С. 31–34.

2.Паливні брикети для потреб села / Я.А.Кузьміч, В.В.Ткач, І.В.Абрамов, В.В.Концур // Механізація та електрифікація сільського госп-ва. – 2000. – Вип.83. – С. 159–162.

3.Пеллеты: Чистая энергия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pellets.kiev.ua/trees_pellets.htm

4.Перспективы производства топливных гранул и брикетов из биосырья / В.И. Щербина, Ж.В. Матвейкина, Д.С. Волков // Совершенствование технологических процессов и технических средств в АПК. – Зеленоград: Азово-Черномор. гос. агроинженер. акад., 2009. – Вып. 8. – С.75–76.

5.Malatak J., Jevic P., Karansky J., Prikryl M., Galik R. Emission Characteristics of Biomass-Based Briquets // Actatechnol.agr. – 2005. – Vol.8, № 2. – P. 48–52.

Исследовано влияние состава древесины (ствола веток и коры) на процесс горения топливных гранул из сосны. Установлено, что наличие в составе гранул именно коры приводит к увеличению продолжительности горения коксовой части гранул.

Топливные гранулы, процесс горения, состав сырья.

The influence of the composition of the wood (trunk twigs and bark) on the combustion process of wood pellets made of pine. It is found that the presence in the composition of the granules is bark increases the coke burning duration of the granule.

Pellets burning process, the composition of the raw material.

**АНАЛІЗ БІОФІЗИЧНОГО ВПЛИВУ ІНФОРМАЦІЙНО-ХВИЛЬОВИХ
ВИПРОМІНЮВАНЬ НА РЕПРОДУКТИВНУ ЗДАТНІСТЬ
КОЛОРАДСЬКОГО ЖУКА (*LEPTINOTARSA DECEMLINEATA*)**

І.І. СІЛІ, аспірант*

***Таврійський державний агротехнологічний університет, м.
Мелітополь***

Досліджено біофізичний вплив інформаційно-енергетичного електромагнітного поля для пригнічення репродуктивної здатності колорадського жука.

Шкідники картоплі, фізико-хімічні процеси в біологічних об'єктах, надзвичайно високочастотне випромінювання (НЗВЧ), надвисокочастотне випромінювання (НВЧ), колорадський жук (*leptinotarsa decemlineata*).

Нині різке зростання виробництва сільськогосподарської продукції супроводжується насиченням продуктів харчування шкідливими хімічними речовинами. Виробництво екологічно «чистих» продуктів харчування, у тому числі і картоплі, можливо лише за умови повної відмови від застосування отрутохімікатів, які використовують для знищення колорадського жука та можливого переходу від хімічного методу боротьби з шкідниками до електрофізичного. І одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є застосування інформаційно-енергетичної електромагнітної технології для знищення шкідників картоплі [2,13].

Колорадський жук (*leptinotarsa decemlineata*) – комаха родини листоїдів, є одним із основних шкідників посівів картоплі в Європі. Комаха показує високу стійкість до отрути і швидко виробляє до них імунітет. Лише системні інсектициди не викликають звикання у жука і забезпечують можливість ефективної боротьби з ним.

Електромагнітне випромінювання НВЧ та НЗВЧ діапазонів у сільському господарстві використовується для знезараження насіння і ґрунту, знищення комах-шкідників, а також для пригнічення репродуктивної здатності колорадського жука [2,6,8].

Отримані експериментальні результати підтверджують наявність біологічних ефектів від впливу електромагнітних полів як на тепловому, так і на низькоенергетичному рівнях потужності.

На основі практичних даних стає зрозумілим, що електромагнітна енергія може змінювати метаболічні та біосинтетичні процеси і при певних параметрах (частота проходження імпульсів, шпаруватість, потужність,

**Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Ю.М. Федюшко
© І.І. СІЛІ, 2015*

експозиція) імпульсного електромагнітного поля (ЕМП) може уповільнювати і пригнічувати клітинний ріст. Опромінення в міліметровому діапазоні РНК і ДНК, які містять вірус, призводить до зниження їх інфекційності [3].

Пригнічення росту культур бактерій, зміна фагоцитарної активності, біосинтезу білків, ультраструктурні зміни в клітинах при впливі ЕМП НЗВЧ діапазону відзначено в роботах [7,14].

У дослідях з мікроорганізмами було встановлено, що біологічний ефект від дії ЕМП на мікроорганізми носив резонансний характер [12].

У той же час проведений аналіз робіт вітчизняних і закордонних науковців доводить, що лише в деяких дослідженнях розглядаються питання впливу електромагнітних полів на біологічні об'єкти з метою створення електротехнологій у сільськогосподарському виробництві. Із зазначеного вище випливає доцільність проведення досліджень у вказаному напрямі.

Мета досліджень – обґрунтування та аналіз біофізичного інформаційно-енергетичного впливу електромагнітного випромінювання на репродуктивну здатність колорадського жука.

Матеріали та методика досліджень. Застосування електромагнітного випромінювання для боротьби зі шкідниками показує досить високу ефективність. Досліди з колорадським жуком проводилися в лабораторних умовах з впливом на нього електромагнітного енергетичного випромінювання частотою 2,45 ГГц. Лабораторні дослідження показали, що для боротьби з жуком слід використовувати інформаційно-енергетичне електромагнітне випромінювання з оптимальними біотропними параметрами.

Отримано експериментальні дані, за якими плодючість самок колорадського жука при опроміненні випромінюванням частотою 2,45 ГГц протягом 4 хв знижується на 27–36 % (за кількістю відкладених яєць). Обробка самців випромінюванням частотою 2,45 ГГц протягом 6–7 хв призводить до повної стерильності [10].

Результати досліджень. Одним із основних механізмів гнітючої дії електромагнітного випромінювання на шкідливі мікроорганізми є роль біологічних мембран у реакціях мікроорганізмів на це випромінювання. Загальноприйнятим є твердження визначальної ролі мембран при формуванні біологічного відгуку на зовнішній фізичний вплив.

Велика кількість життєвих процесів відбувається на мембранах клітини. Мембрана здатна регулювати внутрішньоклітинну воду, а також енергетичні та біохімічні процеси в клітині шляхом зміни дифузії іонів та інших субстратів. Зовнішній вплив на клітину може змінювати її функції, зокрема іонний транспорт через мембрану [1,10,11]. Тому, порушення мембранних процесів – причина великої кількості патологій.

Електричні явища, що відбуваються в мембранах, грають важливу роль. Поява трансмембранної різниці потенціалів обумовлена іонною провідністю мембран, яка є відмінним діелектриком. Так, прошарок електроізолюючих ліпідних молекул здатний витримувати напруженість електричного поля (ЕП) 105 В/см. Величина електричного потенціалу на мембрані надзвичайно важлива. Відповідно до сучасної теорії трансмембранного транспорту [1] саме ЕП всередині мембрани створює

потоки необхідних речовин із зовнішнього середовища всередину клітини, і з клітини в зовнішнє середовище, через спеціальні гідрофільні канали, найімовірніше, липопротеїнової природи. Швидкість проникнення іонів через мембрану визначається такими властивостями, як товщина, величина діелектричної проникності, наявність фіксованих електричних зарядів на мембрані, розміри і число пор у мембрані, наявність фіксованих зарядів у порах і деякими іншими [1].

Для з'ясування впливу ЕМП на мембрани клітин останні можна розглядати як електричний конденсатор, в якому пластинами є електроліти зовнішнього та внутрішнього розчинів з зануреними в них ліпідними молекулами. Ліпіди – діелектрик з діелектричною проникністю $\epsilon \approx 2$.

Очевидно, посилення впливу НВЧ та НЗВЧ випромінювання буде відбуватися зі збільшенням розмірів клітини або в результаті кооперативної взаємодії декількох клітин. Механізм кооперативної взаємодії може бути обумовлений іонами, які оточують мембрану і слабо пов'язані з її поверхнею.

Дія низькоенергетичних випромінювань призводить до перерозподілу електричних сил, що беруть участь у функціонуванні мембрани. В результаті змінюється ступінь зв'язування K^+ , Ca^{2+} та інших іонів у мембрані (у тому числі й іонних каналах), а також виникають локальні зміни фізико-хімічних властивостей поверхні мембрани (мікрров'язкість, рН, поверхневий натяг, ефективний заряд) [4, 5].

Можна припустити, що процес, який протікає в позаклітинному середовищі, включає в себе механізми, здатні інтегрувати слабкі поля на деякій відстані, і розвивається швидше по поверхні мембрани, ніж на її поперечної осі. З наведених вище даних можна зробити висновок, що поки не існує універсальних моделей впливу низькоенергетичного ЕМП на мікроорганізми. Важлива особливість практично всіх моделей полягає в тому, що поверхня клітинних мембран розглядається як найбільш ймовірне місце здійснення розглянутих процесів.

Слід зазначити, що відхилення мембран від рівноваги може відбутися під дією низькоенергетичного ЕМП за рахунок локального стиснення в поздовжньому або поперечному напрямку.

Висновки. Використання НВЧ та НЗВЧ випромінювання як методу боротьби з колорадським жуком показує високу ефективність. З екологічної точки зору розробка електрофізичних пристроїв знищення комах-шкідників є доцільною.

Важливим завданням є розробка ефективного та достовірного методу визначення впливу ЕМП на живі організми. Проблематичним залишається виявлення достовірної оцінки зміни фізіологічного стану та основних життєвих функцій біологічних об'єктів (колорадського жука), підданих електромагнітному випромінюванню різного діапазону. Також необхідно більш детально вивчити взаємодію ЕМП та клітини, в першу чергу з'ясувати фізичну суть процесів, що відбуваються на мембранах клітини.

Проведений аналіз показав, що для пригнічення репродуктивної здатності колорадського жука необхідно проведення досліджень щодо встановлення первинних, фізично обґрунтованих механізмів впливу

інформаційно-енергетичних імпульсних ЕМП на мембрани клітин колорадського жука та його личинок.

Список літератури

1. Взаимодействие физических полей с живым существом / Е. Н. Нефедов, А. А. Протопопов, А. Н. Семенов, А. А. Яшин. – Тула: Изд-во ТулГУ, 1995. – 231 с.
2. Исмаилов Э.Ш. Биофизическое действие СВЧ-излучений / Э.Ш. Исмаилов – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
3. Кисилев Р. И. Влияние электромагнитных волн миллиметрового диапазона на инфекционную активность вирусных нуклеиновых кислот / Р. И. Кисилев, Н. П. Залюбовская // Биоэнергетика. – 1973. – С. 215 – 216.
4. Макри Д. И. Исследования нетепловых резонансных эффектов мм-излучения как начало новой биофизики / Д. И. Макри // ТИИЭР. – 1980. – Т. 68, № 1. – С. 40 – 48.
5. Микроволновые технологии в народном хозяйстве. Внедрение. Проблемы. Перспективы: [сб. науч. работ / ред. акад. МАИ Калинин Л. Г.]. – Одесса: ОКФА, 1966. – 108 с.
6. Нефедов Е.И. Взаимодействие физических полей с живыми существами / Нефедов Е.И., Протопопов А.А., Семенов А.Н. – Тула: Изд-во ТулГУ, 1995.–250 с.
7. Панасенко В. И. Некоторые данные по вопросу влияния электромагнитных полей на живые клетки / В. И. Панасенко., В. В. Игнатов, С. В. Богородицкая // Труды ин-та курортологии и физиотерапии. – М., 1971. – № 17. – С. 114 – 116.
8. Рахматулин Р.А. Электрофизические методы борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур / Р.А. Рахматулин, С.С. Нугманов // Сборник науч. тр. Современные технологии, средства механизации и техническое обслуживание в АПК. – Самара, 2003. – С.81–83.
9. Рубин А.Б. Биофизика: в 2-х кн. Кн.2. Биофизика клеточных процессов / А. Б. Рубин. – М.: Высш. шк., 1987. – 303 с.
10. Савельева Э.Н. Обоснование применения электромагнитного излучения в защите картофеля от колорадского жука: дис. ... кандидата биологических наук: спец. 06.01.07/ Савельева Э.Н. – Кинель, 2010. – 125 с.
11. Черенков А.Д. Воздействие низкоэнергетических электромагнитных измерений на мембранный потенциал и объем клеток биологических объектов / А. Д. Черенков // Микроволновые технологии в народном хозяйстве. Внедрение. Проблемы. Перспективы. – К.: ТЕС, 2000. – С. 152 –155 с.
12. Эйди У.Р. Частотные и энергетические окна при воздействии слабых электромагнитных полей на живую ткань / У.Р. Эйди // ТИИЭР, 1980. – Т. 68, № 1. – С. 128 – 147.
13. Яшин А.А. Информационно-полевая самоорганизация биосистем / А.А. Яшин // Вестник новых медицинских технологий. – 2000. – Т. VII, № 1. – С. 30 – 38.
14. Mayers C. P. Depression of phagocytosis: a nonthermal effect of microwave radiation as a potential hazard to health / C. P. Mayers, L. A. Habeshav // J. Radiat. Biol. – 1973. – Vol 24, № 5. – P.449 – 461.

Исследовано биофизическое действие информационно-энергетического электромагнитного поля для угнетения репродуктивной способности колорадского жука.

Вредители картофеля, физико-химические процессы в биологических объектах, крайне высокочастотное излучение (КВЧ), сверхвысокочастотное излучение (СВЧ), колорадский жук (leptinotarsa decemlineata).

Colorado potato beetle`s reproductive ability in terms of biophysical impact by information electromagnetic waves for the purpose of oppression.

Potato pests, physical and chemical processes into biological objects, extremely high frequency radiation (EHF), super high frequency radiation (SHF), Colorado potato beetle (leptinotarsa decemlineata).

УДК371.31

НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ОНЛАЙНОВОГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ КУРСОВ ПО УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ

***И.И.ТЮХОВ, кандидат технических наук
Кафедра ЮНЕСКО "Возобновляемая энергетика и электрификация
сельского хозяйства", ФГБНУ «Всероссийский научно-
исследовательский институт электрификации сельского
хозяйства», г. Москва***

Рассмотрены новые возможности получения и распространения знаний с учетом развития современных цифровых интернет-технологий - Массовых Открытых Онлайн-курсах (МООК). Новые образовательные технологии способствуют формированию парадигмы опережающего образования. Проанализированы вызовы, которые при этом возникают. На примере тематики устойчивого развития рассмотрены достоинства и недостатки новых образовательных инструментов массового онлайн-обучения в рамках платформ EDx и Coursera.

Массовые Открытые Онлайн-курсы (МООК), интернет-обучение, устойчивое развитие.

Климатические изменения, сохранение биологического разнообразия, смягчение последствий природных катастроф, управление водными и энергетическими ресурсами, предотвращение пандемий являются новыми вызовами для науки, а им должна быть отдана ведущая роль согласно программным документам ЮНЕСКО. Только скоординированные и целенаправленные усилия международного сообщества по обеспечению устойчивого развития и образования для всех могут решить эти проблемы.

Вредители картофеля, физико-химические процессы в биологических объектах, крайне высокочастотное излучение (КВЧ), сверхвысокочастотное излучение (СВЧ), колорадский жук (*leptinotarsa decemlineata*).

Colorado potato beetle`s reproductive ability in terms of biophysical impact by information electromagnetic waves for the purpose of oppression.

Potato pests, physical and chemical processes into biological objects, extremely high frequency radiation (EHF), super high frequency radiation (SHF), Colorado potato beetle (*leptinotarsa decemlineata*).

УДК371.31

НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ОНЛАЙНОВОГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ КУРСОВ ПО УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ

***И.И.ТЮХОВ, кандидат технических наук
Кафедра ЮНЕСКО "Возобновляемая энергетика и электрификация
сельского хозяйства", ФГБНУ «Всероссийский научно-
исследовательский институт электрификации сельского
хозяйства», г. Москва***

Рассмотрены новые возможности получения и распространения знаний с учетом развития современных цифровых интернет-технологий - Массовых Открытых Онлайн-курсах (МООК). Новые образовательные технологии способствуют формированию парадигмы опережающего образования. Проанализированы вызовы, которые при этом возникают. На примере тематики устойчивого развития рассмотрены достоинства и недостатки новых образовательных инструментов массового онлайн-обучения в рамках платформ EDx и Coursera.

Массовые Открытые Онлайн-курсы (МООК), интернет-обучение, устойчивое развитие.

Климатические изменения, сохранение биологического разнообразия, смягчение последствий природных катастроф, управление водными и энергетическими ресурсами, предотвращение пандемий являются новыми вызовами для науки, а им должна быть отдана ведущая роль согласно программным документам ЮНЕСКО. Только скоординированные и целенаправленные усилия международного сообщества по обеспечению устойчивого развития и образования для всех могут решить эти проблемы.

С распространением цифровых технологий обучение принимает формы непрерывного, индивидуально-ориентированного, гибкого и динамичного процесса. Информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) содействуют расширению доступа к высшему образованию и повышению его качества [1].

Цель исследований – рассмотрение новых возможностей получения и распространения знаний с учетом развития современных технологий и вызовов, которые при этом возникают.

Результаты исследований. Новые модели образования XXI века ориентированы на цели устойчивого развития и должны представлять собой в целом опережающую информационно-образовательную систему. Так же, как и наука, система образования должна опережать другие сферы социальной активности, поскольку именно информационные процессы будут опережать материально-энергетические процессы. До сих пор образование являлось консервативной сферой деятельности и часто отставало от науки. Определенные опережающие механизмы, ориентированные на будущее и, особенно на цели устойчивого развития, должны реализовываться в инновационно-опережающих процессах в образовании [6].

История развития социальной коммуникации и образовательных технологий заслуживает краткого упоминания. В общей тенденции развития социальной коммуникации и образовательных технологий прослеживается четкая линия на ускорение передачи, увеличение объема, скорости передачи и использования соответствующей информации [7].

Развитие речи у наших предков позволило общаться между собой и координировать совместную деятельность, например охоту, намного эффективнее, чем это делали животные. Это также сделало возможным эффективнее общаться и обмениваться опытом по использованию и изготовлению инструментов. Речь стала важным аспектом обучения в ранних человеческих цивилизациях.

Использование изображений и символов, предусматривающее возможность общения через расстояния и во времени, позволило осуществить переход к письменности, который происходил около десяти тысяч лет назад и фактически представлял собой настоящую революцию в биосфере Земли. Изобретение бумаги позволило делать записи, организовать обучение и передавать информацию на значительные расстояния, что способствовало развитию торговли и лучшему управлению поселений, городов, государств. В то время, навыками чтения и письма обладала только элита, т.е. ограниченная часть населения.

Изобретение книгопечатания несколько сотен лет назад привело к эре просвещения и позволило распространить накопленные письменные знания (печатными буквами) по всему миру, способствуя индустриализации. Прошло некоторое время, прежде чем практически все люди научились читать и писать, но это были огромные революционные социальные и экономические последствия для наших обществ.

Если говорить о сегодняшнем времени, новая революция только началась и молниеносно захватывает сферу образования. Она уже обеспечивает нас средствами для мгновенного общения по всему миру и наблюдается в рамках процессов глобализации, которые происходят на наших глазах. Эта информационно-коммуникационная революция не только оказала значительное влияние на страны и их экономику, но и на то, как люди должны научиться выживать в постоянно и быстро изменяющемся мире.

Линия эволюции прошла от устной речи до записи и чтения, до представления и передачи информации с помощью различных аудио и визуальных средств, а также компьютерных технологий, интернета, веб-сайтов, блогов, форумов и так далее. Понятно, что каждая революция предъявляла дополнительные требования к системе обучения и методам освоения новых знаний. В то время как первые люди имели большие трудности, чтобы научиться говорить и понимать то, что говорят, современный человек должен уметь не только говорить и слушать, читать и писать, но и использовать все виды аудио-визуальной и цифровой информации для эффективного общения в современном обществе.

Массовые Открытые Онлайн Курсы (МООК), которые по динамике и темпам развития можно описывать, как взрывные, отвечают на новые вызовы и предоставляют уникальные возможности для образования практически всех слоев общества. МООК представляют собой вид дистанционного обучения на базе специальных платформ в Интернете, онлайн-обучение, которое отличается следующими характеристиками:

- большое по сравнению с обычными университетскими курсами количество участников курса (десятки и сотни тысяч студентов, и в целом более 10 млн, зарегистрированных на МООК к концу 2014 г.);
- простота вовлечения в учебный процесс; все, что требуется от студента – это зайти на один из сайтов, например популярных платформ <https://www.edx.org> или <https://www.coursera.org>, выбрать интересующий курс, зарегистрироваться и начать освоение предлагаемого материала;
- курсы в базовых элементах имеют открытый (доступный без оплаты) характер по содержанию и задачам обучения, несмотря на не всегда заметную коммерческую природу бизнеса МООК; курсы могут иметь дополнительную коммерческую составляющую, например в виде платных сертификатов, отбора и трудоустройства выпускников курсов;
- курсы полностью выкладываются в онлайн, используя как асинхронные (с возможностью записи всех учебных материалов на различные гаджеты для последующего изучения вне интернет-сети), так и синхронные методы обучения (вебинары, hang out) и это не исключает имитацию атмосферы кампуса через неформальные встречи с преподавателями.

При желании и наличии свободного времени можно осваивать несколько курсов параллельно без ограничений.

В газете The Chronicle of Higher Education [8] приводится подробная схема анализа основных игроков «МООК Вселенной» (Major Players in the MOOC Universe) и это не просто красивая фраза – это быстро развивающаяся образовательная индустрия с новыми профессиями, например продюсер онлайн-курсов.

Выбор курсов, предлагаемых уже сотнями университетов мира, крайне широк. По устойчивому развитию энергетики и науках о земле (Energy & Earth Sciences) следует упомянуть следующие курсы edX: Solar Energy (Delft), Introduction to Environmental Science (Dartmouth), Our Energetic Earth (University of Toronto), Energy 101 (UT Austin), Natural Disasters (McGillX), а также по аналогичной тематике курсы Coursera: Органические солнечные элементы – теория и практика (Датский технический университет), Введение в термодинамику: передача энергии из одного места в другое (Мичиганский университет), Наше энергетическое будущее (Калифорнийский университет в Сан-Диего), Глобальное потепление: наука об изменении климата и моделирование изменений климата (Университет Чикаго), Основы международного энергетического бизнеса (Система университетов штата Колорадо) и многие другие. Только в марте – апреле 2015 г. предоставлены возможности освоения целого набора МООК, связанных с технологиями устойчивого развития: Introduction to Metrics for Smart Cities, Water and Wastewater Treatment Engineering, Reclaiming Broken Places: Introduction to Civic Ecology, The Search for Vernacular Architecture of Asia, Making Sense of Climate Science Denial.

Интересно отметить, что не всегда курсы организуют университеты. Так, Всемирный банк предлагает курс «Уменьшить нагрев: чем чревато повышение мировой температуры на 4 °C». Есть курсы для преподавателей «Динамичная Земля: курс для преподавателей», «Реорганизация учебного плана естественно-научного профиля», «Critical Issues in Urban Education», «Design and Development of Educational Technology», для самообучения, самообразования, самосовершенствования и даже для удовольствия «Fantasy and Science Fiction The Human Mind, Our Modern World», «The Science of Happiness». Даже названия курсов должны вызывать интерес у студентов «Планета Земля... и вы!», «Greatest Unsolved Mysteries of the Universe», представляющем собой введение в современную астрофизику, где рассматриваются такие темы, как темная энергия и темная материя.

Личный опыт автора знакомства с курсом по теме устойчивого развития “Global Warming Science” (MIT), включающим широкий спектр тем и проблем: introduction to the course, a little climate physics, paleoclimate, instrumental record of the Earth's climate; composition of the atmosphere, basic climate physics, radiative heat transfer, convective heat transfer and radiative-convective equilibrium, atmospheric circulation, clouds, aerosols, and climate, ocean and climate, geochemistry of radiatively active trace gases, the global climate system and climate modeling, forcings and feedback in the climate system, climate modeling, показал серьезный уровень как преподавания, так и высокие требования, предъявляемые к студенту в виде еженедельных

вопросов, задач, заданий по моделированию процессов в атмосфере Земли (программа курса предусматривала работу с программой MIT, загружаемой онлайн) и экзаменов.

Ниже приводится пример бесплатного сертификата по пройденному курсу, выданному после выполнения всех требуемых заданий, тестов и сдаче всех экзаменов.

HONOR CODE
CERTIFICATE

edX MITx

Kerry Emanuel
Professor of Atmospheric Science
Massachusetts Institute of Technology

Sanjay Sarma
Director of Digital Learning
Massachusetts Institute of Technology

Igor Tyukhov

successfully completed and received a passing grade in

12.340x: Global Warming Science

a course of study offered by MITx, an online learning
initiative of The Massachusetts Institute of Technology through edX.

HONOR CODE CERTIFICATE
Issued May 14th, 2014

Verify the authenticity of this certificate at
<https://verify.edx.org/cert/9ce144157d3f42bb8a2a22ae59d506a4>

Платный сертификат на бесплатных платформах edX и Coursera предполагает отслеживание личности студента при прохождении тестов и предполагает символическую плату.

На Coursera, например, за деньги (30–100 долларов) доступна опция Signature Track: при успешном прохождении курса выдается официальный совместный сертификат Coursera и университета-создателя курса. При этом тщательно верифицируется личность студента. Такие сертификаты важны студентам, которые учатся в обычных университетах и дополняют свое образование онлайн-курсами. Целый ряд университетов принимает такие сертификаты наравне с обычными, пройденными в университете курсами, что очень удобно для работающих студентов, так как при учебе на онлайн-курсах время учебы можно планировать, не привязываясь к определенному времени занятий.

Об опыте прохождения курсов по солнечной энергетике можно ознакомиться в трудах недавно прошедшей Международной конференции ИИТО-2014 «Новые вызовы для педагогики и качества образования: массовые открытые онлайн курсы, облачные сервисы, мобильные технологии», на которой были рассмотрены основные тренды информатизации образования: построение в образовательных организациях SMART-пространств; создание MOOC-курсов; использование сетевых технологий для построения ИОС школы; повышение квалификации педагогов [5]. Также на конференции были обозначены и основные проблемы современного этапа информатизации: крах идеи " один ученик – один компьютер"; отсутствие кардинальных изменений на уровне образовательных учреждений; опасность утери культурной и гражданской

идентичности при использовании MOOK курсов и других видов дистанционного обучения; несоответствие фактического уровня информационной компетентности педагогических работников требованиям национальных стандартов и рекомендациям ЮНЕСКО.

Необходимо отметить, что в настоящее время большинство курсов предлагает учебу на английском языке, что можно рассматривать как недостаток или, наоборот, как возможность улучшить языковую подготовку по специальности и восприятию живой речи лектора (медиа– формат mp3).

Для плохо подготовленных по английскому языку студентов можно рекомендовать начать с платформы Coursera, на которой реализуются проекты по переводу курсов. В частности, ABBYY Language Services и центр Digital October объявили об официальном запуске краудсорсингового проекта «Переведем Coursera». Его цель — на волонтерской основе перевести лучшие курсы Coursera на русский язык и сделать их доступными для всех пользователей Рунета. В настоящий момент распределение онлайн-курсов по используемому языку следующее: английский – 800, китайский – 126 (второй по распространенности!), русский – 29, украинский – 7 курсов, что говорит о существенном отставании России и Украины по использованию технологий MOOK.

Если говорить о недостатках MOOK, следует отметить, что по инженерным, медицинским курсам – это отсутствие возможности полноценной практической подготовки по работе с оборудованием и отсутствие возможности получить соответствующие практические навыки.

Практическая подготовка студентов – это специальная тема, которой занимается кафедра ЮНЕСКО в ФГБНУ ВИЭСХ, в том числе и со школьниками [2].

Проблема практической подготовки может решаться в проектно-исследовательской деятельности с использованием разработанных учебно-исследовательских стендов и проектов с использованием новейших космических технологий, включающих междисциплинарные подходы, которые начинают реализовываться в настоящее время, и нацелены в будущее [2, 3, 9, 10].

Например, с точки зрения устойчивого развития возобновляемой энергетики прогнозирование прихода солнечного излучения на земную поверхность в зависимости от облачности является актуальной задачей в настоящем и ближайшем будущем, когда большие солнечные электростанции используются как источники энергии для электросети, дающие значительный вклад в систему энергоснабжения на базе традиционных источников энергии. Знание прихода солнечного излучения с использованием ГИС технологий позволит осуществлять оптимальное планирование работы системных операторов [4, 11].

Выводы. Онлайн-курсы MOOK могут существенно повысить кругозор студентов и квалификацию преподавателей, а также всех интересующихся вопросами современного образования. Новые образовательные технологии способствуют формированию парадигмы опережающего образования.

Широкий спектр курсов по различным дисциплинам существенно улучшает междисциплинарную подготовку научно-образовательного сообщества и способствует улучшению международного сотрудничества.

Практически мгновенное распространение о курсе по всему миру позволяет формировать опережающее человеческое сознание, способное, как предвидеть будущее, так и воплощать в практику наиболее желаемые модели, если предлагаемый курс отражает работу на острие научно-технического прогресса, как например, курсы по искусственному разуму, встроенной электронике, робототехнике, солнечной энергетике и т.д.

Существенным дополнением к онлайн-образованию должна быть практическая работа студентов, включающая проектно-исследовательскую деятельность с использованием самых современных технологий.

Список литературы

1. Информационные и коммуникационные технологии в образовании: монография / [под.ред. Бадарча Дендева]. – М.: ИИТО ЮНЕСКО, 2013. – 320 с.

2. Космические образовательные технологии: инвестиции в будущее (теория и практика) / [под.ред. М.А. Шахраманьяна, И.И. Тюхова, Н.С. Вощенковой]. – Калуга: Ин-т повышения квалификации работников образования, 2009. – 776 с.

3. Нурғалиев С.Г. Предложение по формированию потока входящих заявок проектов в бизнес-инкубатор ИМ и ЭР РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева путем внедрения инноваций в преддипломную практику студентов на базе кафедры ЮНЕСКО ВИЭСХ / С.Г. Нурғалиев. // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 9 Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2014. – С. 279–284.

4. Тюхов, И. И. Мониторинг погодноклиматических условий для солнечной энергетике / И.И. Тюхов, А.Х. Раупов // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – Саратов, 2014. – № 2. – С. 99–108.

5. Тюхов И.И. О влиянии ИКТ на качество высшего образования на примере курсов по солнечной энергетике в рамках образовательных платформ Edx и Coursera [Электронный ресурс] / И.И. Тюхов // Новые вызовы для педагогики и качества образования: массовые открытые онлайн курсы, облачные сервисы, мобильные технологии: междунар. конф. ИИТО-2014, 14–15 окт. 2014 г.; М: тезисы докл. Режим доступа: <http://conference2014.iite.unesco.org/wp-content/uploads/2014/11/Tyukhov.pdf>.

6. Урсул А.Д. Наука и образование в глобально-ноосферной перспективе / А.Д. Урсул, Т.А. Урсул // NB: Проблемы политики и общества. – 2013. – № 2. – С. 161–222. DOI: 10.7256/2306-0158.2013.2.439. URL: http://e-notabene.ru/pr/article_439.html

7. Victor van Rij and Brian Warrington Teaching and learning for an ICT revolutionised society Synthesis Report // The results of a Foresight Workshop organised as part of the FP7 Blue Skies Project FarHorizon, 2–3 December 2010, Brussels.

8. Major Players in the MOOC Universe. The Chronicle of Higher Education: <http://chronicle.com/article/Major-Players-in-the-MOOC/138817/>

9. Tyukhov I. I., Raupov A. H., Tilov A. Z. Global-local monitoring of climate-weather conditions for renewable energy Impacts of extreme weather on natural,

socio-economic and land use systems: focus on the 2010 summer anomaly in the Volga region. Proceedings of the NASA Science Meeting, GOF-C-GOLD and NEESPI Workshop and Regional Conference 17–22 June 2012/ – P. 26–30.

10. Tyukhov, I., Schakhramanyan, M., Simakin, V., Strebkov, D., Poulek, V. "PV and GIS Lab for teaching solar energy," Proc. 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1 - 5 September, 2008, Spain, Valencia. P.3815–3818.

11. Tyukhov I., Rezk H., Raupov A. Experimental implementation of meteorological data and photovoltaic solar radiation monitoring system Int. Trans. Electr. Energ. Syst. (2015), Published online in Wiley Online Library (wiley online library.com). DOI: 10.1002 / etep.2053.

Розглянуто нові можливості отримання і поширення знань з урахуванням розвитку сучасних цифрових інтернет–технологій – Масових Відкритих Онлайнових Курсів (МВОК). Нові освітні технології сприяють формуванню парадигми випереджаючої освіти. Проаналізовано виклики, які при цьому виникають. На прикладі тематики сталого розвитку розглянуто переваги і недоліки нових освітніх інструментів масового онлайн–навчання в рамках платформ EDx і Coursera.

Масові Відкриті Онлайнові Курси (МВОК), інтернет–навчання, сталий розвиток.

The new opportunities of learning and dissemination of knowledge with the development of modern digital internet technologies - Mass Open Online Courses (MOOK) are considered. New educational technologies contribute to the formation of advanced education paradigm. The new challenges are analyzed which occur using MOOK. The advantages and disadvantages of new educational tools of mass online learning platforms within EDx and Coursera on sustainable development are discussed.

Massive Open Online Courses (MOOK), Internet–training, sustainable development.

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО–КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИВЧЕННІ ФАХОВИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

***В.Г. ПОДОБАЙЛО, кандидат технічних наук
М.В. ПОТАПЕНКО, С.В. ГАЙДУКЕВИЧ, Н.П. СЕМЕНОВА,
старші викладачі***

ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”

Показано ефективність застосування засобів інформаційно - комунікаційних технологій при вивченні фахових електротехнічних дисциплін студентами вищих аграрних навчальних закладів. Обґрунтовано доцільність програмного середовища MatLab для комп'ютерного моделювання електротехнічних та енергетичних установок.

Інформаційно - комунікаційні технології, засоби мультимедіа, навчальний процес, комп'ютерне моделювання.

Сучасне виробництво вимагає швидкої адаптації випускників до умов фахової діяльності. Існуючі форми організації навчального процесу значною мірою не забезпечують вимоги виробництва. Враховуючи різноманітність і динаміку умов діяльності, важливо забезпечити гнучкість фахової підготовки, тобто її здатність адаптуватися до динаміки виробництва, умов і виробничих відносин. Стрімке збільшення обсягів навчального матеріалу у вищій школі з одночасними тенденціями щодо зменшення аудиторного часу на його вивчення вимагає пошуку резервів для інтенсифікації навчального процесу. Одним із засобів інтенсифікації навчального процесу є впровадження сучасних технологій навчання, пов'язаних з використанням комп'ютерної техніки. В умовах глобальної інформатизації суспільства використання нових інформаційно - комунікаційних технологій (ІКТ) у викладанні дисциплін необхідно розглядати не лише з позиції одержання нових можливостей для реалізації мети і завдань конкретної навчальної програми дисципліни, але й з позиції необхідності поглибленого засвоєння інформаційних потоків. Впровадження комп'ютерної техніки в навчальний процес ставить перед викладачами завдання не тільки зберегти, але і за допомогою ІКТ підсилити фахову підготовку.

Висока професійна майстерність, уміння самостійно приймати обґрунтовані й ефективні інженерні рішення в наш час є неможливим без оволодіння методами роботи з комп'ютерною технікою та прикладними програмними продуктами.

Характеризуючи сучасний стан та організацію педагогічного процесу вищої школи, багато відомих вчених та педагогів зазначають неспроможність предметної системи навчання забезпечувати необхідну якість підготовки інженерних кадрів [2].

Підготувати висококваліфікованого фахівця нині неможливо без застосування ІКТ, використання яких у вищій школі ретельно досліджувалося вітчизняними та зарубіжними вченими. Вагомий вклад у теорію і практику розробки і впровадження інформаційних технологій в систему освіти внесли: В.Биков, М.Жалдак, Т.Зайцева, І.Клочко, М.Лапчик, Ю.Машбиць, Ю.Рамський, І.Роберт, О.Співаковський, О.Спірін, Н.Тализіна, Н.Тверезовська, Т.Точиліна, Ю.Триус та ін.

Мета досліджень – аналіз засобів ІКТ, що застосовуються при вивченні фахових електротехнічних дисциплін студентами вищих аграрних навчальних закладів; обґрунтування доцільності програмного середовища MatLab для комп'ютерного моделювання електротехнічних і енергетичних установок.

Матеріали та методика досліджень. Застосування ІКТ відкриває для педагога нові можливості викладання своєї дисципліни. Ефективність навчання майбутніх фахівців інженерних спеціальностей з використанням комп'ютерів пояснюється значним унаочненням програмного матеріалу, що дозволяє краще зрозуміти та засвоїти абстрактні поняття, сформулювати практичні вміння та навички.

У загальному, підготовка інженерних кадрів містить такі компоненти:

- фундаментальна підготовка, що сприяє створенню бази для засвоєння фахових дисциплін;
- інженерно - гуманітарна підготовка, яка спрямована на гуманізацію інженерної освіти, розвиток особистих якостей спеціаліста;
- фахова підготовка.

Без цілісного поєднання всіх компонентів неможливо підготувати висококваліфікованого інженерно - технічного працівника.

Предметом вивчення фахових електротехнічних дисциплін в аграрних вищих навчальних закладах є теоретична база, проектування, конструювання, технологія виготовлення, експлуатації і ремонту реальних установок і систем, що застосовується в агропромисловому секторі. Цілі та завдання навчальних дисциплін, а також їх зміст і обсяг узгоджуються з вимогами до складу та якості типових функцій фахівця певного освітньо-кваліфікаційного рівня.

Спроби наблизити процес фахової підготовки до реальних виробничих умов у тій чи іншій галузі народного господарства здійснювалися неодноразово. Впровадження в навчальний процес лише окремих елементів того чи іншого виробничого циклу не завжди приносить бажані результати, а тому, й надалі, відкритим залишається питання підвищення якості підготовки фахівців у вищій школі [1].

Результати досліджень. Стрімке збільшення потоку наукової інформації потребує своєчасного й адекватного відображення її в навчальному процесі [7]. Потенціал комп'ютера як основного засобу реалізації ІКТ дозволяє ширше використовувати можливості зорових і слухових аналізаторів. Накопичення інформації та її перетворення в досвід потребує відповідної організації пам'яті.

Інформаційні технології забезпечують нові додаткові можливості інтенсифікації навчального процесу до яких належать:

- індивідуальний підхід до навчання і засвоєння матеріалу, що найбільш виражений при застосуванні адаптивних форм ІКТ;
- можливості візуального представлення об'єктів, явищ і процесів, що суттєво полегшує засвоєння найскладніших тем у порівнянні з їх поданням за допомогою традиційних засобів навчання;
- можливості побудови студентами моделей реальних об'єктів і процесів та їх дослідження за допомогою прикладних програм комп'ютерного моделювання;
- швидкість і зручність пошуку інформації, що надають засоби комп'ютерної техніки;
- автоматизований контроль навчального процесу з об'єктивним оцінюванням студентів;
- реалізація дистанційних форм навчання.

У педагогічній діяльності серед ІКТ особливе місце займають так звані мультимедійні технології, що збагачують процес навчання. При використанні на заняттях мультимедійних засобів навчання його структура принципово не змінюється, і надалі залишаються всі етапи, лише змінюються часові характеристики, що дає можливість більш об'ємно подавати матеріал [6].

Однією з основних переваг мультимедійних засобів є інтерактивність, яка дозволяє в певних межах керувати процесом подання інформації: студенти можуть індивідуально змінювати налаштування, вивчати результати, а також відповідати на запити програми, встановлювати швидкість подачі матеріалу, число повторень та інші параметри, впливати на свій власний процес навчання, пристосовуючи його під свої індивідуальні здібності і можливості.

Використання того чи іншого мультимедійного засобу залежить перш за все від мети і завдань конкретної дисципліни.

При вивченні фахових електротехнічних дисциплін технології мультимедіа студенти застосовують у таких видах своєї навчально - пізнавальної діяльності:

- вивчення нового лекційного матеріалу за допомогою засобів мультимедійного супроводу;
- комп'ютерне моделювання енергетичних та електротехнічних установок і систем;
- самостійна робота з мультимедійними навчальними посібниками;
- оформлення студентами електронних звітів до лабораторних робіт засобами мультимедіа;
- проміжний та підсумковий тестовий контроль знань.

Мультимедійний супровід повинен містити багатий фактичний та ілюстративний матеріал, який може бути використаний у навчальних цілях, мати чітке дидактичне призначення, педагогічну спрямованість, адекватно відповідати навчальній програмі й легко активізуватися на комп'ютері [4]. Мультимедійна лекція може досягти максимального

навчального ефекту, якщо вона є осмисленим цілісним продуктом, а не випадковим набором слайдів.

Мультимедійні засоби мають безперечну перевагу над іншими засобами, коли необхідно показати недоступні для безпосереднього спостереження явища та процеси розвитку й динаміки, що вивчаються в ряді фахових електротехнічних дисциплін.

Спектр впровадження мультимедійних технологій в освітній галузі постійно розширюється: від використання мультимедіа з метою створення навчальних матеріалів до розробки цілісної концепції побудови освітніх програм, підготовки фахівців за вибраним напрямком, формування нових засобів навчання завдяки використанню цих технологій.

Основною особливістю методики використання як окремих мультимедійних засобів, так і їхніх поєднань у певній комплексній системі, є необхідність забезпечити відповідність між специфічними особливостями викладу навчального матеріалу та основними психолого-педагогічними закономірностями процесу навчання, особливостями та умовами засвоєння студентами знань.

У сучасній виробничій діяльності інженерно-технічних працівників функції аналізу і прийняття оптимальних рішень, накопичення і впорядкування інформації передбачають використання комп'ютерної техніки.

Провідну роль при підготовці фахівців відіграє комп'ютерне моделювання, яке найдоцільніше застосовувати на лабораторних заняттях з електротехнічних дисциплін.

Так, комп'ютерне моделювання дозволяє вирішувати такі задачі:

- індивідуалізацію виконання лабораторної роботи студентами, що досягається за рахунок довільної зміни параметрів елементів досліджуваного об'єкта;
- скорочення часу на підготовку до лабораторної роботи, постановку і проведення досліду та оформлення звіту за рахунок автоматизації розрахунків, графічних побудов, а також можливості використання електронної форми звітності;
- ефективну підготовку студента до проведення реального експерименту шляхом одержання попередніх результатів, які в подальшому дають можливість їх аналізу практично на реальних установках.

Навчання зі застосуванням комп'ютерного моделювання можна проводити по-різному: пропонувати студентам завдання на добудову моделі або проводити її видозмінення і переконструювання.

Досвід застосування комп'ютерного моделювання енергетичних і електротехнічних установок показує, що одним з найперспективніших є програмне середовище MatLab із вбудованими інструментальними пакетами (Simulink, Power System Blockset, Stateflow та ін.). Програмний продукт має достатню кількість прикладів перетворювачів, що дозволяє прискорити побудову нових моделей [3].

Комплекс MatLab вважається у навчальному процесі досить ефективним і може бути використаний у викладанні цілого ряду

електротехнічних дисциплін, а саме: теоретичні основи автоматики, цифрові системи керування, теоретичні основи електротехніки, контрольно – вимірювальні прилади, основи електропривода, електричні машини та ін. на більш високому рівні.

Як відомо, основними електроприймачами підприємств і різного роду установок є електродвигуни, комплексні електроприводи, зварювальні агрегати, прилади електричного освітлення, перетворювальні установки тощо.

У сільськогосподарському виробництві найбільшого застосування набули трифазні асинхронні електродвигуни змінного струму.

У пакеті Power System Blockset програмного середовища MatLab змодельовано роботу асинхронного електродвигуна (рисунок).

Цей інструментальний пакет має бібліотеки ряду електричних машин постійного струму, синхронних і асинхронних машин змінного струму. Машини можуть моделюватися в режимах двигуна, або генератора. Це відкриває можливості моделювання, як самих машин, так і достатньо складних схем керування ними [5].

Відомо, що трифазна симетрична система змінного струму – це сукупність однофазних кіл, у яких діють електрорушійні сили однакової величини і частоти, зсунуті за фазою одна відносно іншої на 120° .

Для створення трифазної системи синусоїдальних напруг використовуються три блоки Ac Voltage Source бібліотеки Electrical Sources пакета Power System Blockset, які з'єднуються «зіркою» за допомогою блока Bus Bar (thin horiz). У вікна налаштування блоків задаються напруги, фази і частота відповідно до вищенаведених виразів. Нульова точка заземляється блоком Neutral (input and output).

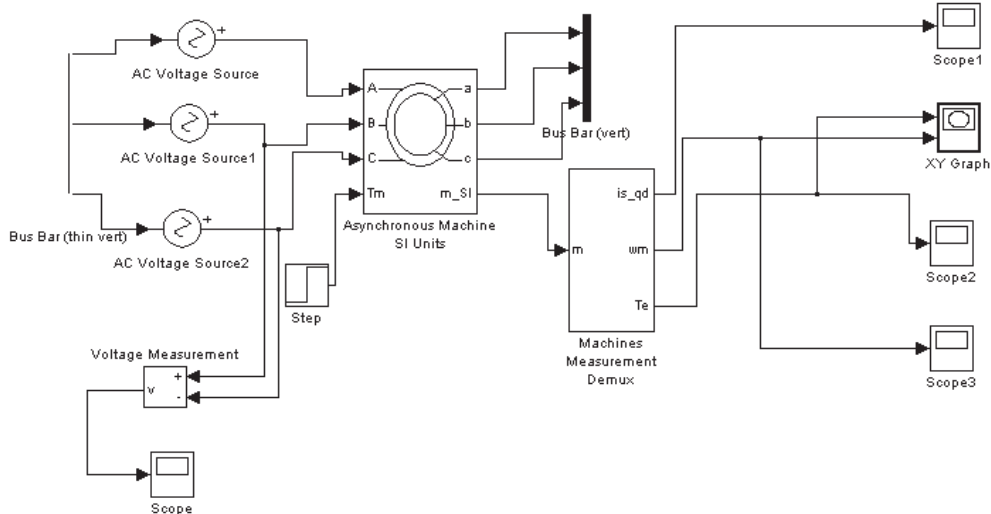
Пакет Power System Blockset дозволяє моделювати асинхронні електродвигуни з фазним і короткозамкненим ротором. Для електродвигунів із фазним ротором до виходів ротора а, b, с під'єднуються активні опори, ввімкнуті за схемою «зірки». У випадку короткозамкненого ротора виводи ротора а, b, с з'єднуються між собою за допомогою шини Bas bar (vert).

Як модель електродвигуна використовується блок Asynchronous Machine SI Units з бібліотеки Power System Blockset. Для відтворення параметрів заданого електродвигуна відкривають вікно налаштування параметрів і в полях вікна задають:

- у першому полі – тип ротора (короткозамкнений або фазний);
- у другому полі – координатну систему відліку (нерухома, пов'язана з ротором, синхронно обертаюча);
- у третьому полі – потужність, діючу лінійну напругу та частоту;
- у четвертому, п'ятому і шостому задаються, відповідно, активний опір та індуктивність статора, активний опір та індуктивність ротора, взаємоіндуктивність між статором і ротором електродвигуна;
- у сьомому полі – момент інерції ротора, коефіцієнт тертя і число пар полюсів;

- в останньому (восьмому) полі – початкові умови (значення ковзання і струмів обмоток статора електродвигуна).

Обов'язково слід врахувати, що трифазна система працює після запуску моделі тільки в тому випадку, коли на її вхід включений трансформатор напруги Voltage Measurement і вимірювальний осцилограф Scope.



Модель пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у MatLab (інструментальний пакет Power System Blockset)

Водночас зазначимо, що виконання комп'ютерного моделювання не завжди є достатнім для студентів. У багатьох випадках більш важливим є проведення реальних дослідів для одержання навиків роботи з електротехнічним і енергетичним обладнанням.

Висновки. При організації навчального процесу з використанням ІКТ слід виокремити ряд суттєвих переваг:

- організація активної пізнавальної діяльності студентів;
- оптимізація навчального процесу;
- збільшення обсягу інформації, що подається студентській аудиторії;
- стимулювання творчих здібностей;
- наближення заняття до реальних виробничих умов;
- можливості реалізації індивідуального навчання.

Особливо важливе місце при підготовці інженерно - технічних кадрів займає комп'ютерне моделювання. Застосування програмного комплексу MatLab із вбудованими інструментальними пакетами для моделювання та аналізу установок і систем сприятиме підвищенню якості навчання фахових електротехнічних дисциплін.

Актуальним напрямом подальшої розробки окресленої проблеми є побудова і дослідження експериментальних моделей організації навчального процесу, які ґрунтуються на інваріантних принципах педагогічної технології, що регламентують відповідні форми педагогічної взаємодії.

Список літератури

- 1.Бледных В.В. Совершенствование подготовки инженерных кадров / В.В. Бледных // Техника в сельском хозяйстве. – 1990. – №1. – С. 13 – 14.
- 2.Долженко О.В. Современные методы и технология обучения в техническом вузе / О.В. Долженко, В.Л. Шатуновский. – М.: Высш. шк., 1990. – 191 с.
- 3.Дьяконов В. Математические пакеты расширения MATLAB: [спец. справочник] / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.
- 4.Кирмайер Г. Мультимедиа / Г. Кирмайер. – М.: Малип, 1994. – 256 с.
- 5.Лабораторний практикум з дисципліни «Математичне моделювання на ПЕОМ» / М.О. Корчемний, П.Б. Клендїй, М.В. Потапенко, Г.Я. Клендїй. – Бережани: НВДЦ «Нововведення», 2010. – 66 с.
- 6.Потапенко М.В. Роль мультимедійних технологій у процесі вивчення спеціальних електротехнічних дисциплін / М.В. Потапенко, Н.Т. Тверезовська // Науковий вісник НУБіП України. – 2011. – №159(2). – С. 185 – 191.
- 7.Роберт И.В. Современные информационные технологии в образовании: дидактические проблемы; перспективы использования / И.В. Роберт. – М.: «Школа – Пресс», 1994. – 206 с.

Показана ефективність застосування засобів інформаційно-комунікаційних технологій при вивченні професійних електротехнічних дисциплін студентами вищих аграрних навчальних закладів. Обґрунтовано доцільність програмного середовища MatLab для комп'ютерного моделювання електротехнічних і енергетических установок.

Інформаційно-комунікаційні технології, засоби мультимедіа, навчальний процес, комп'ютерне моделювання.

Efficiency of application facilities is shown informatively - of communication technologies at the study of professional electrical engineering disciplines the students of higher agrarian educational establishments; expediency of software environment MatLab is reasonable for the computer design of electrical engineering and power options.

Information - communication technologies, multimedia, educational process, computer simulation.