

## **СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КОНТЕКСТЕ ШИРОКОМАСШТАБНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБ- НОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

***Д.С. Стребков, академик, доктор технических наук  
В.В.Харченко, доктор технических наук  
Всероссийский научно-исследовательский институт  
электрификации сельского хозяйства, г. Москва***

*Рассмотрены две вероятные тенденции развития глобальной энергетики. Показаны проблемы и пути создания глобальных солнечных электростанций и проведена оценка параметров глобальной солнечной станции, способной покрыть мировую потребность в электроэнергии. Как альтернатива глобализации энергетики рассмотрено развитие распределенной энергетики и как формы ее проявления – микросетей на основе возобновляемых источников энергии, способных обеспечить надежное энергоснабжение удаленных сельских территорий.*

***Возобновляемые источники энергии, глобальная энергетическая система, распределенная энергетика, микросети.***

Развитие технологий возобновляемой энергетики и интенсивный рост масштабов использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) оказывает существенное влияние на тенденции развития глобальной энергетики. Поэтому вероятные сценарии развития мировой энергетики необходимо рассматривать не только в контексте с современным уровнем развития энергетических технологий, но и с учетом темпов развития технологий возобновляемой энергетики. Необходимо также учитывать вероятный сценарий развития мировой экономики в целом, с одной стороны, и векторы развития мировых демографических процессов, с другой.

Рост суммарного потребления энергии  $E$  в мире с 1850 г. по настоящее время приблизительно пропорционален квадрату роста населения. Если предположить, что к 2100 году население планеты вырастет в 10 раз, то энергопотребление в этот отрезок времени может возрасти почти в 100 раз. В 1990 г. при суммарной мощности 13,2 ТВт в среднем мощность per capita составляла 2,5 кВт [2].

**Цель исследований** – анализ развития глобальной энергетики в контексте широкомасштабного использования возобновляемых источников энергии.

**Результаты исследований.** Сегодня можно прогнозировать следующие тенденции в развитии глобальной энергетики:

– создание глобальной энергетической системы;

– всемерное развитие распределенного производства энергии для энергоснабжения локальных потребителей.

Решение указанных глобальных задач будет основываться на широкомасштабном использовании возобновляемых источников энергии.

### *1. Формирование глобальной энергетической системы энергоснабжения*

В настоящее время дальнейшее развитие получила концепция создания глобальной системы энергоснабжения Земли путем последовательного, поэтапного укрупнения существующих и создания новых региональных энергетических систем с последующей их интеграцией в единую энергосистему. Эта концепция, предложенная в 1975 г. Р. Букминстером Фуллером, активно развивается в Институте глобальной энергетической сети GENI (Global Energy Network Institute) [8]. Президент GENI Петер Мейсен в период работы Международного солнечного конгресса в Москве (1997 г.) выступил в ВИЭСХ с докладом по данной проблеме, в котором озвучил вышеуказанную идеологию.

В соответствии с этой концепцией в будущем прогнозируется создание трансконтинентальных систем, объединяющих транспортные и энергетические потоки и совмещающие волноводные кабельные линии, магистральные линии связи, железнодорожные трассы и автомобильные магистрали. Рассматривается, в частности, возможность создания ряда транспортно-энергетических магистралей, например, с Запада на Восток (Лиссабон – Владивосток), с Юга на Север (Австралия, Индонезия, Таиланд, Вьетнам – Китай – Берингов пролив – Аляска – Канада – Америка), по Великому Шелковому пути и др. Можно прогнозировать создание магистралей по линии Кейптаун – Осло, Западная Африка – Ирландия, а также ряд других. Меридиональная энергетическая линия соединит также страны Южной и Северной Америки. Широтная энергетическая линия в экваториальной зоне (от 0° до 30° северной широты) соединит страны Азии, Африки и Латинской Америки.

Экваториальная энергетическая линия, а также широтная энергетическая линия Лиссабон – Владивосток будет замкнута через Тихий и Атлантический океан, Северную и Центральную Америку. Сеть меридиональных и широтных энергетических линий образуют Объединенную Энергетическую Систему Земли [4].

Сегодня создан достаточный технологический задел, функционируют и создаются новые региональные энергетические системы.

### *2. Пути создания Глобальной энергетической системы*

Задача создания глобальной энергетической системы быть разделена на две: формирование генерирующих центров большой мощности и разработка технологий эффективной передачи электроэнергии на большие расстояния. Огромную роль в реализации рассмотренных глобальных проектах будет играть повсеместное, широкомасштабное использование возобновляемых источников энергии, в первую очередь энергии Солнца. В настоящее время все большее число стран отдадут предпочтение солнечной энергетике. Создан ряд крупных солнечных станций

(СЭС), самой крупной из которых является Перовская СЭС мощностью 100 МВт (Украина, Крым).

Общая мощность солнечных электростанций в мире превышает 100 ГВт (European Photovoltaic Industry Association).

СЭС невозможно использовать в качестве базовой составляющей региональной энергосистемы, вследствие необходимости сглаживания периодических, стохастических процессов. Принято считать, что установленная мощность СЭС не должна превышать 10–15 % от общей установленной мощности электростанций региональной энергосистемы. При таких условиях колебания мощности солнечных электростанций не оказывают заметного влияния на качество электроснабжения. В противном случае требуется принятие специальных мер.

Создание мировой или даже межрегиональной солнечной энергосистемы позволит минимизировать или даже полностью исключить суточную и сезонную неравномерность выработки электроэнергии и обеспечить круглосуточное электроснабжение потребителей.

Работы по созданию эффективных технологий передачи больших массивов электроэнергии на большие расстояния развиваются достаточно широко (ВИЭСХ, Сибирский энергетический институт, Санкт-Петербургский государственный технический университет, ВЭИ, АВВ, Сименс и др.). Полученные результаты позволяют с оптимизмом смотреть на возможность решения этой глобальной проблемы.

На основе резонансных методов передачи энергии [3] могут быть созданы однопроводниковые волноводные кабельные линии с согласующими и преобразующими устройствами, которые соединят генераторов и потребителей энергии в каждой стране в мировую энергетическую систему. Резонансные технологии, будучи до конца разработанными и внедренными в практику в полном объеме, позволят передавать потоки электроэнергии мощностью несколько ТВт на расстояния в десятки тысяч километров.

В этом случае появится возможность связать сети солнечных электростанций на крышах и фасадах домов, а также в пустынях в единую энергетическую систему, дополненную сетью ветровых электростанций (ВЭС), располагаемых, например, вдоль морского побережья, где существует постоянный перенос воздушных масс. Важным компонентом будущей объединенной энергосистемы будут гидроэлектростанции и электростанции, использующие энергетические плантации биомассы.

### *3. Анализ потенциальных возможностей глобальных электрических систем различной конфигурации*

Глобальная энергетическая система может состоять из солнечных электростанций и электростанций, использующих другие возобновляемые источники энергии, соединенные между собой и с потребителями энергии линиями передачи электрической энергии таким образом, что СЭС одинаковой мощности устанавливаются в широтном направлении в Африке, Северной Америке, Европе и Азии на одинаковом угловом рас-

стоянии друг от друга по долготе, в градусах равно  $\Delta U = 360^\circ/n$ , где  $n$  – количество базовых солнечных электростанций.

Базовые солнечные электростанции через высокочастотные преобразователи и повышающие трансформаторы Тесла присоединяются к однопроводниковой резонансной линии передачи электрической энергии, к которой присоединены другие солнечные электростанции, гидроэлектростанции, ветровые электростанции, электростанции, работающие на биомассе, и потребители электрической энергии стран мира. Суммарная мощность базовых электростанций в энергосистеме равна суммарной мощности всех потребителей энергии стран мира, подключенных к энергетической системе на дневной и ночной стороне земли.

Для обеспечения бесперебойного и надежного электроснабжения и выравнивания суточного графика производства энергии в солнечной энергетической системе, состоящей из солнечных электростанций, соединенных линиями электропередачи между собой и с потребителями электроэнергии. Солнечные электростанции могут располагаться в разных полушариях Земли. Расстояние между соседними СЭС по долготе в градусах должно составлять не более  $7,5 \times \min(h_1 + h_2)$  градусов, где  $h_1$  и  $h_2$  – длительности светового дня в месте расположения станции, выраженные в часах, а  $\min(h_1 + h_2)$  – минимальная суточная сумма, выбранная из всех дней года.



**Рис. 1. Глобальная солнечная энергетическая система из трех солнечных электростанций (на карте Мексики в масштабе показаны размеры солнечной электростанции)**

По разработанной в ВИЭСХ методике были проведены оценки потенциальной выработки электроэнергии для ряда крупных региональных электростанций различной конфигурации, располагаемых на различных территориях. Результаты оценки параметров виртуальной глобальной солнечной энергетической системы, состоящей из трех СЭС, установленных в Австралии, Африке и Мексике (рис. 1) и соединенных линиями электропередачи с малыми потерями, выполнены сотрудниками ВИЭСХ

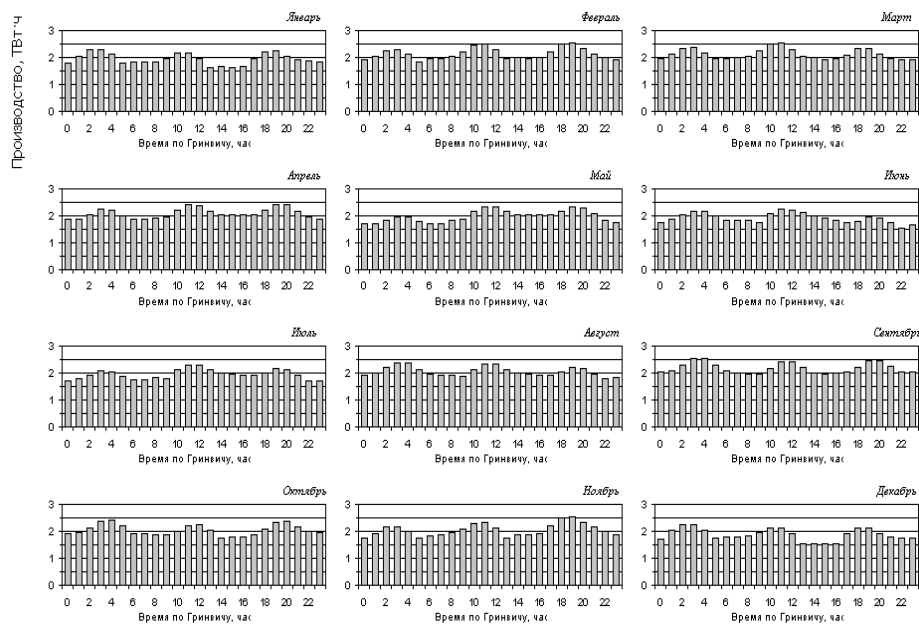
(Иррадионов И.О. и др.) методом компьютерного моделирования представлены на рис. 2.

При моделировании использовались данные по солнечной радиации за весь период наблюдений. КПД СЭС принимался равным 25 %. Видно, что СЭС может генерировать электроэнергию круглосуточно и равномерно в течение года. Размеры каждой из трех СЭС составляют 190×190 км, электрическая мощность 2,5 ТВт. Годовое производство электрической энергии (17300 ТВт·ч) превышает годовое мировое потребление электроэнергии.

Солнечные электростанции в системе распределены в широтном направлении так, что окончание освещения фотоактивной поверхности одной электростанции совпадает с началом освещения панелей другой, ближайшей по ходу Солнца станции. Изменяя расстояние между станциями по долготе, можно добиться не только непрерывности суточного хода средней выходной мощности системы, но и значительно увеличить равномерность производства электроэнергии.

Система контроля и управления глобальной энергосистемой включает геостационарные спутники наблюдения за облачным покровом и прогнозирования выходной мощности солнечных электростанций, а также исполнительные устройства для запуска резервных электростанций с разными маневренными и мощностными характеристиками для покрытия графика нагрузок энергосистемы.

Базовые солнечные электростанции блочно-модульного типа могут ежегодно увеличивать свою мощность на 100–300 ГВт. Начало функционирования глобальной солнечной энергетической системы прогнозируется в 2050 г., выход на полную мощность в 2090 г.



**Рис.2. Производство электроэнергии глобальной солнечной энергосистемой**

В результате реализации такого проекта доля солнечной энергетики в мировом производстве электроэнергии составит 75–90 %, а выбросы парниковых газов будут снижены в 10 раз.

Размещение солнечных электростанций энергосистемы по обе стороны от экватора позволяет исключить сезонные колебания выработки электроэнергии – зимнее снижение в одном полушарии компенсируется летним ростом выработки в другом.

Наблюдение за облачным покровом в окрестностях солнечных электростанций с помощью геостационарных спутников позволяет прогнозировать уровень выходной мощности и, при необходимости, определять момент начала подготовки к запуску тех или иных резервных мощностей. Такая система позволяет полностью отказаться или свести к минимуму необходимость использования буферных накопителей мгновенного действия.

#### *4. Распределённое производство энергии*

Развитие распределенной энергетики активно привлекает все большее внимание научной общественности и бизнеса, поскольку это один из важнейших факторов повышения энергетической безопасности таких стран, как Россия. Около 2/3 территории страны, на которой проживает порядка 20 млн человек, не охвачено централизованным электроснабжением, а на значительной ее части отсутствуют вообще какие-либо источники энергии [5]. Децентрализация энергоснабжения является жизненной необходимостью для населения, проживающего на огромных пространствах страны и мощным стимулом для вовлечения этих территорий в хозяйственную деятельность.

Одним из наиболее эффективных путей решения этой задачи является освоение новых технологий возобновляемой энергетики. Автономное энергоснабжение – это та ниша, где использование возобновляемых источников энергии и, в частности, энергии Солнца, уже сегодня экономически оправдано.

В этой области энергетики еще только складываются основные термины и понятия, происходит разграничение объектов малой энергетики по типу вырабатываемого энергоресурса и мощности. Тем не менее, работы в этом направлении развиваются достаточно интенсивно во всем мире и в России, в частности. Так, в РФ среди ряда утвержденных технологических платформ имеется и платформа «Малая распределенная энергетика» (ТП «МРЭ»). Проведены две Всероссийские конференции «Развитие малой распределенной энергетики в России». Сформулирован ряд понятий, уточнение которых продолжается. Тем не менее, еще многие вопросы требуют тщательной разработки.

В самом общем виде распределенный энергетический ресурс может быть охарактеризован как совокупность генерирующих источников, которые могут быть распределены по всей сети, причем как со стороны потребителя, так и со стороны поставщика.

В последнее время для автономного энергоснабжения удаленных, преимущественно сельских, потребителей начали использовать комбинированные системы, основанные на использовании двух и более типов

ВИЭ. Они могут успешно дополнять друг друга, вследствие чего потребность в аккумуляровании и использовании резервных источников энергообеспечения снижаются. Особенно удачными автономные системы можно организовать при наличии исчерпывающей информации о потенциале различных ВИЭ в данной местности, конкретно на объекте.

Однако часто трудно на одном объекте, особенно если это небольшой крестьянский дом, реализовать энергосистемы на базе нескольких потенциально возможных источников. Кроме того, соотношение по времени и мощности нагрузок и генерации электроэнергии в большинстве случаев трудно сбалансировать, поскольку и источники генерации, и потребители немногочисленны.

Значительно легче все эти проблемы устранить, если и число источников генерации, и число потребителей электроэнергии будет существенно больше и будут они разнообразнее. Эти условия легко реализовать, если создать локальную микросеть, положения и принципы формирования которых достаточно активно разрабатываются [1,6,7].

Микросеть – это интегрированная энергетическая система небольшой мощности с распределенными генераторами и потребителями энергии.

В микросети можно реализовать широкую интеграцию локальных бестопливных возобновляемых источников энергии, в первую очередь таких, как солнечная энергия.

Существует много вариантов микросетей. Они могут работать не только автономно, но и параллельно с электросетью. Инновации в энергетике и электронике, технологиях управления, информатики и связи создают благоприятные условия для развития и совершенствования микросетей, их оптимального управления с поддержанием стандартных и стабильных параметров электроэнергии, несмотря на интеграцию источников нестабильной мощности, таких как ветровые и солнечные электростанции. В микросети легче осуществить балансирование мощностей и получить хорошее соотношение между генерирующими мощностями и объемом выработанной и потребляемой энергии. Здесь могут быть применены динамические резервные мощности и эффективные накопители энергии, в то время как в большой энергосистеме надо содержать дорогие и громоздкие резервные мощности, поэтому здесь есть много возможностей установить цену на электроэнергию ниже рыночной. Владеть микросетью и эксплуатировать ее могут владельцы жилых домов, предприятия, ЗАО, деревни, поселки и т.д. Здесь потребители энергии в то же время могут быть и ее производителями, эксплуатирующими свои микроэлектростанции или/и накопители энергии. Интеграция ВЭС, СЭС и других электростанций ВИЭ в микросеть встречает значительно меньше бюрократических препятствий, чем присоединение к электросети.

В настоящая время около 90 % существующих электрических микросетей занимает площадь до 1 км<sup>2</sup>, а суммарная мощность генераторов энергии в одной такой микросети не превышает 1 МВт [9].

Хорошие перспективы для построения микросетей имеются в сельской местности, где доступ к местным первичным возобновляемым исто-

чникам энергии в меньшей степени ограничен по сравнению с урбанизированной местностью.

В микросети выработанная энергия в основном используется местными потребителями, что обеспечивает снижение потерь, связанных с передачей и распределением энергии по электрическим сетям.

### **Выводы**

Интенсивное развитие инновационных технологий выработки электроэнергии и передачи ее на значительные расстояния открывает возможности для реализации идеи создания глобальной энергетической системы. Такая система могла бы объединять крупные генерирующие мощности в различных зонах земной поверхности, на территориях, неиспользуемых для хозяйственной деятельности, но обладающих высоким потенциалом ВИЭ. Она позволит обеспечить бесперебойное энергоснабжение огромных территорий по всему земному шару. Однако даже при наличии крупных региональных станций или глобальной энергосистемы останутся территории, где централизованное энергоснабжение будет отсутствовать. Ряд территорий в силу различных экономических либо технических причин по-прежнему будет оставаться вне зоны централизованного энергоснабжения. На этих территориях проблема надежного энергоснабжения будет решаться с помощью энергетических систем распределенной энергетики. По мере продвижения централизованного электроснабжения на пока еще неосвоенные территории, создаваемые там автономные генерирующие мощности могут эксплуатироваться в параллельном с сетью режиме, обмениваться с сетью энергетическими потоками или, при необходимости, поглощаться крупными энергосистемами.

Развитие и внедрение новых технологий ВИЭ приведет к увеличению роли возобновляемой энергии в энергетике будущего до 60–70 %, в электроэнергетике до 80–90 %.

### **Список литературы**

1. Адомавичюс В.Б. Особенности и проблемы построения микросетей / В.Б. Адомавичюс, В.В. Харченко // Тр. 8-й Междунар. науч.-техн. конф. (16–17 мая 2012 г., Москва, ГНУ ВИЭСХ). – М., 2012. – Ч.5. – С. 50–57.
2. Капица С.П. Энергетика и экономика человечества / С.П. Капица // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 9. – С. 10–12.
3. Стребков Д.С. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии / Д.С. Стребков, А.И. Некрасов. – М.: Изд-во ГНУ ВИЭСХ, 2008. – 350 с.
4. Стребков Д.С. Роль и место ВИЭ в развитии глобальной энергетики / Д.С. Стребков, В.В. Харченко // Малая энергетика. – 2011. – № 3–3. – С. 3–12.
5. Фортов В.Е. Энергетика в современном мире / В.Е. Фортов, О.С. Попель. – Долгопрудный: Издательский дом Интеллект, 2011. – 168 с.
6. Харченко В.В. Микросеть на основе ВИЭ как инструмент концепции распределенной энергетики / В.В. Харченко, В.Б. Адомавичюс, В.А. Гусаров // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – №2 (119). – С. 80–85.
7. Adomavicius V., Kharchenko V., Valickas J., Gusarov V. RES-based microgrids for environmentally friendly energy supply in agriculture // Proceedings of

5th International Conference TAE 2013 (Trends in Agricultural Engineering, 2–3 September, 2013, Prague, Czech Republic). – P. 51–55.

8. Energy Technology Perspectives 2008: Scenarios and Perspectives to 2050. – OECD/IEA. – 648 p.

*Розглянуто дві ймовірні тенденції розвитку глобальної енергетики. Показані проблеми та шляхи створення глобальних сонячних електростанцій і проведена оцінка параметрів глобальної сонячної станції, здатної покрити світову потребу в електроенергії. Як альтернатива глобалізації енергетики розглянуто розвиток розподіленої енергетики і як форми її прояву – мікромереж на основі відновлюваних джерел енергії, здатних забезпечити надійне енергопостачання віддалених сільських територій.*

***Відновлювані джерела енергії, глобальна енергетична система, розподілена енергетика, мікромережі.***

*Two probable tendencies of development of global energy are considered. Problems and ways of creation of global solar power stations and an estimation of parameters of the global solar station, capable to cover world requirement for the electricity are estimated. As alternative of energy globalization development of the distributed energy and as the form of its display microgrids on the basis of the renewable energy sources, capable to provide reliable power supply of remote rural territories are considered.*

***Renewable energy sources, global power system, distributed energy, microgrids.***

УДК 631.371: 621.31

## **ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ВОДОПОГЛИНАННЯ НАСІННЯ**

***В.В. Козирський, доктор технічних наук***

***В.В. Савченко, О.Ю. Синявський, кандидати технічних наук***

*Проведено дослідження впливу магнітного поля на поглинання води насінням сільськогосподарських культур. Встановлено залежності швидкості дифузії води через клітинну мембрану та водопоглинання насінням від характеристик магнітного поля.*

***Магнітне поле, клітинна мембрана, дифузія, магнітна індукція, градієнт магнітного поля.***

Підвищення урожайності сільськогосподарських культур і якості продукції рослинництва є важливим народногосподарським завданням.

5th International Conference TAE 2013 (Trends in Agricultural Engineering, 2–3 September, 2013, Prague, Czech Republic). – P. 51–55.

8. Energy Technology Perspectives 2008: Scenarios and Perspectives to 2050. – OECD/IEA. – 648 p.

*Розглянуто дві ймовірні тенденції розвитку глобальної енергетики. Показані проблеми та шляхи створення глобальних сонячних електростанцій і проведена оцінка параметрів глобальної сонячної станції, здатної покрити світову потребу в електроенергії. Як альтернатива глобалізації енергетики розглянуто розвиток розподіленої енергетики і як форми її прояву – мікромереж на основі відновлюваних джерел енергії, здатних забезпечити надійне енергопостачання віддалених сільських територій.*

***Відновлювані джерела енергії, глобальна енергетична система, розподілена енергетика, мікромережі.***

*Two probable tendencies of development of global energy are considered. Problems and ways of creation of global solar power stations and an estimation of parameters of the global solar station, capable to cover world requirement for the electricity are estimated. As alternative of energy globalization development of the distributed energy and as the form of its display microgrids on the basis of the renewable energy sources, capable to provide reliable power supply of remote rural territories are considered.*

***Renewable energy sources, global power system, distributed energy, microgrids.***

УДК 631.371: 621.31

## **ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ВОДОПОГЛИНАННЯ НАСІННЯ**

***В.В. Козирський, доктор технічних наук***

***В.В. Савченко, О.Ю. Синявський, кандидати технічних наук***

*Проведено дослідження впливу магнітного поля на поглинання води насінням сільськогосподарських культур. Встановлено залежності швидкості дифузії води через клітинну мембрану та водопоглинання насінням від характеристик магнітного поля.*

***Магнітне поле, клітинна мембрана, дифузія, магнітна індукція, градієнт магнітного поля.***

Підвищення урожайності сільськогосподарських культур і якості продукції рослинництва є важливим народногосподарським завданням.

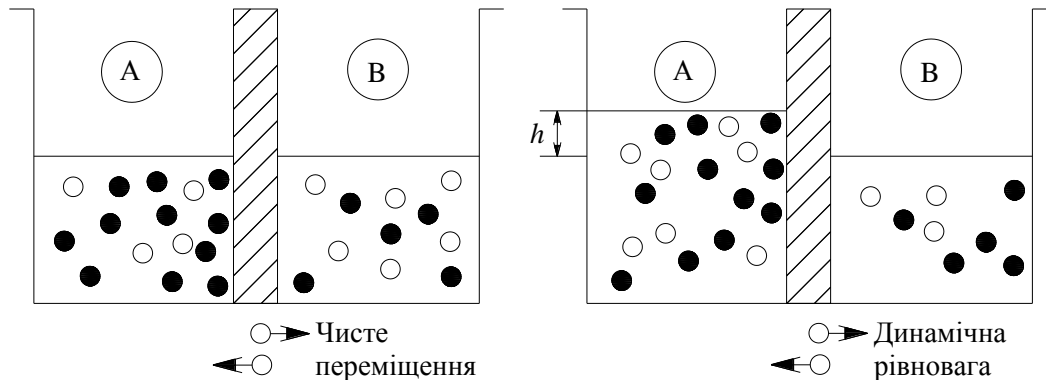
Для його вирішення в останні роки застосовують різноманітні електрофізичні методи передпосівної обробки насіння, серед яких одним із перспективних є магнітна обробка.

Експериментально встановлено, що обробка насіння в магнітному полі сприяє підвищенню водопоглинання насіння, що забезпечує зростання врожайності сільськогосподарських культур [4]. Проте відсутнє теоретичне обґрунтування цього процесу та не встановлені діючі фактори.

**Мета досліджень** – встановлення впливу характеристик магнітного поля на водопоглинання насіння сільськогосподарських культур.

**Матеріали та методика досліджень.** Аналіз впливу характеристик магнітного поля на процес дифузії води через клітинну мембрану проводився з використанням положень теорії транспорту поживних речовин через клітинну мембрану та застосуванням математичного моделювання.

**Результати досліджень.** Якщо два розчини різної концентрації розділені мембраною, непроникною для розчиненої речовини, то вирівнювання концентрації досягається за рахунок дифузії молекул води (рисунок). Спочатку переміщуються молекули води в розчин А з більшою концентрацією речовини, а після досягнення усталеного стану (рисунок «б») встановлюється різниця рівнів розчинів А і В, величина якої пропорційна початковій різниці концентрації розчиненої речовини (виникає осмотичний потенціал) [2].



### Рух молекул води через напівпроникливу мембрану:

умовні позначення: ● – молекули розчиненої речовини; ○ – молекули води [1, 2]

У початковий момент часу кількість речовини в розчинах, розділеною мембраною, становить відповідно  $C_1V$  та  $C_2V$ . В усталеному режимі після дифузії молекул води із розчину з меншою концентрацією в розчин з більшою концентрацією речовини концентрації розчинів вирівнюються і становлять

$$\frac{C_1V}{V + \Delta V} = \frac{C_2V}{V - \Delta V}, \quad (1)$$

де  $C_1$  та  $C_2$  – концентрації речовин у розчинах, розділених мембраною, моль/л;  $V$  – об'єм речовини, м<sup>3</sup>;  $\Delta V$  – об'єм води, який пройшов через мембрану, м<sup>3</sup>.

Із рівняння (1) отримаємо

$$(C_1 - C_2)V = (C_1 + C_2)\Delta V, \quad (2)$$

звідки

$$\Delta V = \frac{(C_1 - C_2)V}{C_1 + C_2}. \quad (3)$$

Процес дифузії води через мембрану описується законом Фіка [5]:

$$\frac{(C_1 + C_2)d\Delta V}{dt} = -\frac{D}{\Delta L^2}(C_2(V + \Delta V) - C_1(V - \Delta V)), \quad (4)$$

де  $D$  – коефіцієнт дифузії, м<sup>2</sup>/с;  $\Delta L$  – товщина мембрани, м.

Звідси маємо:

$$\frac{(C_1 + C_2)d\Delta V}{dt} = -\frac{D}{\Delta L^2}((C_2 - C_1)V + (C_1 + C_2)\Delta V), \quad (5)$$

або

$$\frac{\Delta L^2}{D} \frac{d\Delta V}{dt} + \Delta V = \frac{(C_1 - C_2)V}{C_1 + C_2}. \quad (6)$$

При початкових умовах при  $t=0$ ,  $\Delta V_{\text{поч}}=0$  це диференціальне рівняння має розв'язок:

$$\Delta V = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} V \left( 1 - e^{-\frac{D}{\Delta L^2} t} \right). \quad (7)$$

Коефіцієнт дифузії через клітинну мембрану визначається за формулою [4]:

$$D = k_0 a^2 e^{-\frac{E_a}{kT}}, \quad (8)$$

де  $k_0$  – коефіцієнт, с<sup>-1</sup>;  $a$  – розмір пори, м;  $E_a$  – енергія активації дифузії, Дж;  $k$  – стала Больцмана, Дж/К;  $T$  – абсолютна температура, К.

Молекули клітинної мембрани згідно з сучасними уявленнями про її будову є диполями. Відомо, що на магнітний диполь, розміщений у магнітному полі, діє сила, яка намагається повернути його так, щоб магнітний момент диполя був співнаправленим з магнітним полем:

$$F_M = M \text{grad} B, \quad (9)$$

де  $M$  – магнітний момент диполя, Дж/Тл;  $B$  – магнітна індукція, Тл.

Ця сила призводить до деформації клітинної мембрани. За законом Гука абсолютна деформація [4]

$$F_2 = k_2 X, \quad (10)$$

де  $k_2$  – коефіцієнт жорсткості (пружності) мембрани, Н/м;  $X$  – абсолютна деформація, м.

Тоді із (9) і (10) отримаємо значення абсолютної деформації мембрани:

$$X = \frac{MgradB}{k_2}, \quad (11)$$

або

$$X = K_M gradB. \quad (12)$$

Підставивши в (7) вирази (8) і (12), отримаємо:

$$\Delta V = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} V \left( 1 - e^{-\frac{k_\partial (a + K_M gradB)^2 e^{-\frac{E_a}{kT}} t}{\Delta L^2}} \right). \quad (13)$$

Таким чином, при дії магнітного поля на клітину прискорюється транспорт води в неї.

Для визначення впливу магнітного поля на водопоглинання клітини скористаємося рівнянням (7):

$$\Delta m = \rho \Delta V = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \rho V \left( 1 - e^{-\frac{D}{\Delta L^2} t} \right), \quad (14)$$

де  $\rho$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>.

При обробці насіння у магнітному полі підвищується проникність мембран, тому зростає також і водопоглинання:

$$\Delta m = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \rho V \left( 1 - e^{-\frac{k_\partial (a + K_M gradB)^2 e^{-\frac{E_a}{kT}} t}{\Delta L^2}} \right). \quad (15)$$

Оскільки при дії магнітного поля на насіння підвищується швидкість хімічних реакцій, то внаслідок цього буде зростати концентрація речовин у клітині [3]. Тоді водопоглинання насіння буде описуватися виразом:

$$\Delta m = \rho \Delta V = \frac{C_1 e^{-\frac{\mu(K^2 B^2 - 2KBv_n^*)}{2RT}} - C_2}{C_1 e^{-\frac{\mu(K^2 B^2 - 2KBv_n^*)}{2RT}} + C_2} \rho V \left( 1 - e^{-\frac{k_\partial (a + K_M gradB)^2 e^{-\frac{E_a}{kT}} t}{\Delta L^2}} \right). \quad (16)$$

Таким чином, водопоглинання насіння при його обробці у магнітному полі зростає. Це пояснюється тим, що зростає коефіцієнт дифузії води внаслідок збільшення розмірів пор у мембранах, а також підвищенням швидкості хімічних реакцій.

Водопоглинання насіння визначається величиною і градієнтом магнітної індукції, а також швидкістю руху насіння у магнітному полі.

### **Висновки**

При дії магнітного поля на клітинні мембрани підвищується їх проникність, що обумовлює зростання коефіцієнта дифузії та прискорює дифузю через клітинну мембрану молекул та іонів.

Підвищення проникності клітинних мембран та швидкості хімічних реакцій при обробці насіння у магнітному полі викликає зростання водопоглинання насіння, що також сприяє підвищенню урожайності сільськогосподарських культур.

### **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. Кларксон Д. Транспорт ионов и структура растительной клетки / Д. Кларксон. – М.: Мир, 1978. – 368 с.
3. 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.
4. Сидорцов И.Г. Повышение эффективности воздействия постоянного магнитного поля на семена зерновых культур при их предпосевной обработке: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве» / И.Г. Сидорцов. – зерноград, 2008. – 18 с.
5. Физическая химия. Теоретическое и практическое руководство / [Б.П. Никольский, Н.А. Смирнова, М.Ю. Панов и др.]; под ред. акад. Б.П.Никольского. – Л.: Химия, 1987. – 880 с.

*Проведено дослідження впливу магнітного поля на поглинання води семенами сільськогосподарських культур. Встановлено залежності швидкості дифузії води через клітинну мембрану та водопоглинання семенами від характеристик магнітного поля.*

***Магнітне поле, клітинна мембрана, дифузія, магнітна індукція, градієнт магнітного поля.***

*The research of the influence of magnetic field on the absorption of water by the seed crops was conducted. The dependencies of the diffusion rate of water through the cell membrane and the water absorption of seeds on characteristics of the magnetic field are identified.*

***The magnetic field, the cell membrane, the diffusion, the magnetic induction, the magnetic field gradient.***

## КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УЧЕТА МОЛОКА НА ФЕРМАХ

**Б.П. Коршунов, кандидат технических наук**  
**А.И. Учеваткин, доктор технических наук**  
**Ф.Г. Марьяхин, А.Б. Коршунов, кандидаты технических наук**  
**А.А. Орлов, научный сотрудник**  
**Всероссийский научно-исследовательский институт**  
**электрификации сельского хозяйства, г. Москва\***

*Разработан комплект оборудования для индивидуального, группового, общего и коммерческого учета молока в вакуумных и напорных молокопроводах, что обеспечивает высокую точность и сохранение качества молока.*

***Индивидуальный, групповой, общий, коммерческий учет молока, электромагнитный, вакуумные и напорные молокопроводы.***

Учет надоев от коровы и группы коров молока – одна из наиболее сложных и ответственных операций на ферме, важнейшее условие правильной организации производства. Информация об индивидуальном и групповом удоях коров необходима для ведения племенной и зоотехнической работы, определения рациона кормления коров, режима их содержания, организации и стимулирования труда доярок. Это в конечном итоге, оказывает непосредственное влияние на количество и качество получаемого молока на ферме, состояние и продуктивность. Специфические условия животноводческих ферм предъявляют особые требования к измерительным устройствам для учета молока [1,2,6].

По технологическим требованиям индивидуальный учет должен проводиться во время контрольных доек до трех раз в месяц, а учет от группы коров – каждую дойку. При этом измеряется количество надоев от каждой коровы за сутки и отбирается среднесуточная проба молока для исследования на содержание жира и белка.

Для индивидуального и группового учета молочной продукции используются молокомеры различных типов: поплавковые открытого и закрытого типа, устройства для зоотехнического учета молока УЗМ-1, малогабаритные счетчики молока «Милкоскоп» фирмы Foss Electric (Дания), «Тру-Тест-Милкметр» фирмы Tru-Test-Distributors Ltd (Новая Зеландия), МГБ, АДМ, УТБ (Фемакс, Россия) и др.

Основными недостатками счетчиков молока, используемых на молочных фермах при проведении контрольных доек и группового учета, являются их высокая стоимость, большие габариты, сложность промывки.

Такое положение потребовало совершенствования и создания нового класса измерительных устройств, свободных от указанных недостатков.

Контроль потоков молока на фермах молочного направления предусматривает следующие операции:

- учет молока при раздельном выдаивании четвертей вымени коровы;
- зоотехнический учет молока при доении от каждой коровы;
- учет потоков молока от групп коров;
- общий учет молока, поступающего с доильной установки;
- учет молока при выдаче с фермы (коммерческий учет).

**Цель исследования** – разработка комплекта оборудования для контроля потоков молока в вакуумных и напорных молокопроводах, который включает средства косвенного и прямого измерения.

**Материалы и методика исследований.** К средствам косвенного измерения количества молока, поступающего по вакуумным и напорным молокопроводам, относятся устройства, основанные на измерении косвенных величин, связанных с измеряемым количеством молока известной функциональной зависимостью. Используются, например, зависимости, определяемые делительным коэффициентом между отделяемым с помощью делительного устройства контрольным объемом молока, направляемым в измерительный стакан и измеряемым объемом, следующим по вакуумному молокопроводу. К такому типу устройств относятся устройства для учёта молока при раздельном выдаивании четвертей вымени коровы, для зоотехнического учёта молока и взятия средней пробы при доении. Эти устройства реализуют зависимость:

$$M_c = K \left[ \int_0^{T_{pu}} \frac{Q_d}{K_1}(t) dt \right], \quad (1)$$

где  $M_c$  – количество молока, измеряемое устройством, м<sup>3</sup>;  $Q_d$  – объёмный расход молока, м<sup>3</sup>/с;  $K, K_1$  – масштабный и делительный коэффициенты;  $T_{pu}$  – время рабочего цикла, с.

К средствам прямого измерения относятся устройства, основанные на методах измерения объема молока путём его непосредственного сравнения с объёмом мерного устройства прибора. В качестве эталона в этом случае принимаются измерительные ячейки, представляющие собой объёмы, жестко ограниченные со всех сторон измерительными поверхностями.

Для измерительных приборов прямого действия, оснащённых мерными устройствами, действует соотношение

$$M_c = \sum \left[ \sum_1^n V_d; \int_0^{T_{pu}} Q_i(t) dt \right], \quad (2)$$

где  $Q_i$  – объёмный расход протечек от воздействия на молоко подвижных поверхностей мерного устройства и при изменении давления в молокоп-

ровом, м<sup>3</sup>/с;  $V_0$  – объём измерительной ячейки, м<sup>3</sup>;  $n$  – количество мерных ячеек за цикл  $T_{pc}$ .

В систему управления на контрольный пункт выдаётся дистанционный электрический аналоговый или дискретный сигнал, пропорциональный прошедшему через измерительное сечение прибора количеству молока. К такому типу устройств относятся устройства для группового, общего и коммерческого учёта молока, поступающего с доильной установки и выдаваемого в молоковозы. Для этих целей разработаны и средства косвенного измерения, в том числе электромагнитного действия. Они используют функциональную связь между скоростью потока молока, протекающего через однородное магнитное поле и наводящейся при этом на установленных в потоке электродах электродвижущей силой.

В процессе эксплуатации после интегрирования по времени случайных значений электродвижущей силы, пропорциональной скорости потока, вырабатывается сигнал, пропорциональный объёму протекающего молока:

$$M_c = K \int_0^{T_{pc}} E(t) dt = Bl \int_0^{T_{pc}} v(t) dt, \quad (3)$$

где  $E$  – электродвижущая сила, В;  $B$  – электромагнитная индукция, Тл;  $l$  – расстояние между электродами, м;  $v$  – скорость потока молока, м/с;  $K$  – поправочный коэффициент.



**Рис. 1. Устройство для зоотехнического контроля молока и взятия пробы при доении (УЗКМ-1)**

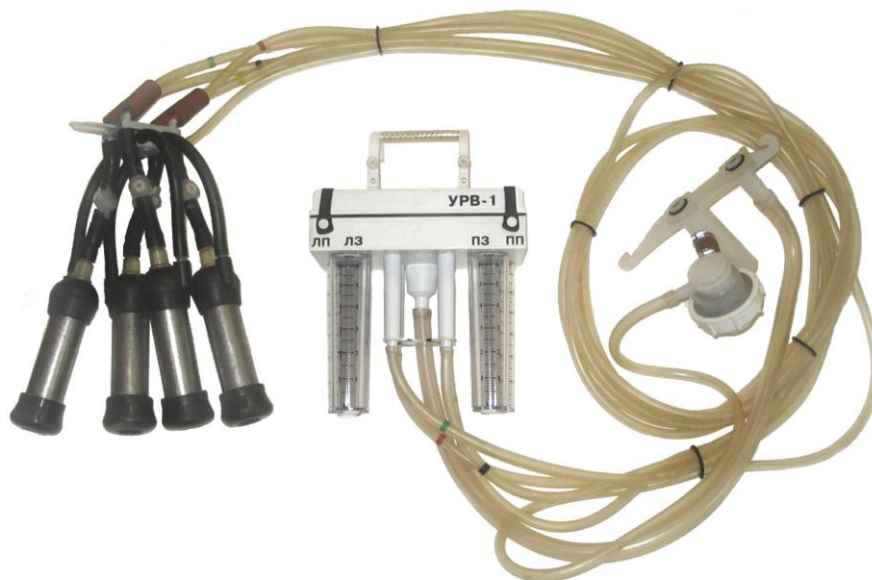
Абсолютная и относительная погрешности устройств косвенного и прямого измерений определялись по формулам:

$$\delta_{abc} = M_c - M_d; \quad \delta = \frac{\delta_{abc}}{M_d} 100\% \quad (4)$$

где  $\delta_{abc}$  – абсолютная погрешность, В;  $\delta$  – относительная погрешность;  $M_d$  – действительное количество прошедшего молока.

На принципе пропорционального деления потока молока в ВИЭСХ созданы и защищены патентами: устройство для зоотехнического контроля молока и взятия пробы при доении УЗКМ-1 (рис. 1.) и устройство для учета молока при раздельном выдаивании четвертей вымени коровы УРВ-1 (рис. 2.) [3, 4].

В качестве делительного устройства применен стабилизатор случайного потока молока. Он находится в верхней части устройства. Стабилизатор случайного потока выполнен в виде конуса, направленного вершиной к делимому потоку молока. Газожидкостная смесь под действием разности давлений, создаваемых вакуумным насосом, поступает на делительный конус и под действием силы поверхностного натяжения жидкая фаза газожидкостной смеси в виде тонкой движущейся пленки покрывает коническую и тороидальную поверхность измерителя. Воздух при этом отделяется и проходит по периферийным каналам. Таким образом, выделяется жидкостная составляющая газожидкостной смеси. Часть этой составляющей, по результатам проведенных исследований, была принята с делительным коэффициентом К 1:50, "вырезается" в виде пленки измерительной щелью с тонкими ребрами по краям и направляется в измерительный стакан, со шкалы которого снимаются показания.



**Рис. 2. Устройство для учета молока при раздельном выдаивании четвертей вымени коровы (УРВ-1)**

Устройства УЗКМ-1 и УРВ-1 отвечают современным требованиям и успешно прошли длительные Государственные испытания на Подольской МИС. В настоящее время эти устройства с успехом эксплуатируются в хо-

зяйствах всех форм собственности в различных регионах Российской Федерации.

Дальнейшее повышение эффективности систем контроля потоков молока на животноводческих фермах требует совершенствования средств измерения, входящих в состав технологических линий обработки молока.

Как показали проведенные исследования, электромагнитные средства измерения наиболее полно удовлетворяют требованиям, предъявляемым к устройствам для контроля потоков молока. Они обладают достаточно высокой точностью измерения, не имеют движущихся частей, позволяют обеспечить дистанционный учет молока, изолировано от окружающей среды при минимальном контакте с внутренней поверхностью молокопроводных систем, сохраняя высокое качество молока. При этом повышается быстродействие, улучшаются массогабаритные показатели и промываемость технологических систем методами циркуляционной промывки.

**Результаты исследований.** В ВИЭСХ разработано устройство для дифференцированного учёта потока молока УКМ-Бк (рис. 3).



**Рис. 3. Устройство для дифференциального учета потока молока (УКМ-Бк)**

Устройство работает по принципу измерения скорости потока молока через измерительный блок электромагнитного действия с дистанционной выдачей сигнала, пропорционального объёму молока, прошедшего через прибор.

Проведенные хозяйственные испытания показали целесообразность использования данных устройств для общего учета молока и выдачи с фермы (коммерческий учет).

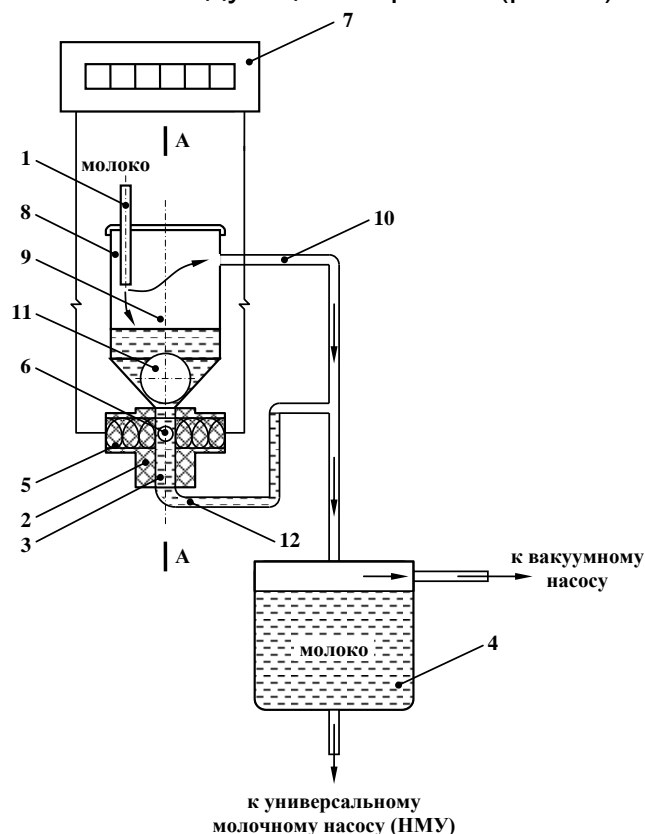
Однако, до настоящего времени электромагнитные средства измерения еще не нашли должного применения в технологических линиях обработки молока на фермах из-за дополнительных технологических требований, затрудняющих их использование при работе в случайных потоках молока, в вакуумных молокопроводах и потоках с малым расходом.

Все перечисленные дополнительные требования особенно актуальны для группового учета молока. Ограничением применения существующих электромагнитных средств измерения является необходимость оснащать их резервуарами большой вместимости при работе в молокопроводах со случайными режимами поступления молока, в т.ч. в вакуумных молокопроводах, где молоко находится в виде молоковоздушной смеси и не обеспечивается гарантированное заполнение сечения трубы преобразователя расхода, без чего невозможна нормальная работа устройства.

В связи с этим возникла необходимость проведения исследований по разработке комплексной системы учета молока на фермах, обеспечивающей дистанционный контроль потоков молока от группы коров, после доильной установки и при выдаче с фермы (коммерческий учет).

В ВИЭСХ совместно с ЗАО НПО "Тепловизор" разработано электромагнитное устройство, обеспечивающее учет случайных потоков молока, в т.ч. и в вакуумных молокопроводах [5].

Устройство для контроля потоков молока в молокопроводах животноводческих ферм работает следующим образом (рис. 4).



**Рис. 4. Общая схема электромагнитного устройства для контроля потоков молока в молокопроводах животноводческих ферм:**

1 – приемный патрубок; 2 – электромагнитный преобразователь расхода; 3 - труба из немагнитного материала; 4 – вакуумированный молокосборник доильной установки; 5 – электромагнит с полюсами; 6 – электроды; 7 – вычислительное устройство; 8 – преобразователь потока; 9 – приемная камера; 10 – вакуумный патрубок; 11 – поплавковый клапан; 12 – молокопровод

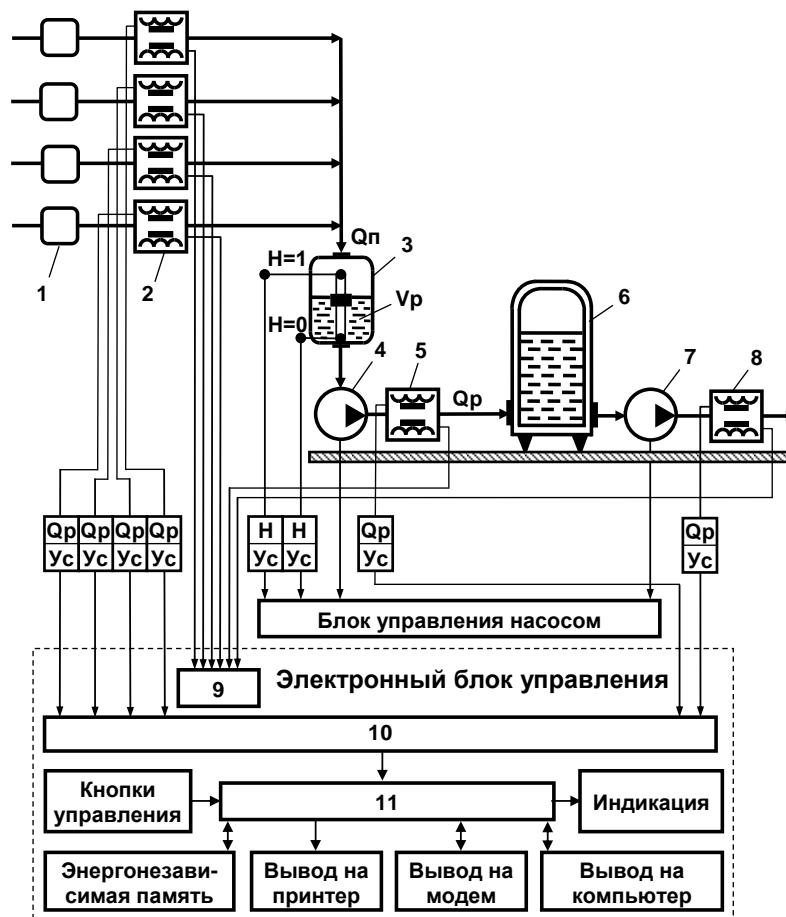
По вакуумным молокопроводам молоковоздушная смесь с доильных аппаратов от группы коров поступает в приемный патрубок 1, а затем в приемную камеру 9 преобразователя потока 8 и, отделяясь от воздуха, накапливается в ней. Поплавок поплавкового клапана 11 всплывает и отверстие, образуемое торцом трубы 3 преобразователя расхода 2, открывается. Воздух, поступающий с молоковоздушной смесью, отделяется и следует по вакуумному патрубку 10 в молокосорборник 4 к вакуумному насосу доильной установки (на схеме не показан). Поток молока, являющегося электропроводной жидкостью, заполняет трубу 3, выполненную из немагнитного материала и следует между полюсами 5 электромагнита преобразователя расхода 2.

В результате взаимодействия потока молока с магнитным полем, на электродах 6 преобразователя расхода 2 образуется разность потенциалов, пропорциональная объемному расходу молока. В вычислительном устройстве 7 производится интегрирование этого сигнала по времени и вырабатывается сигнал, пропорциональный количеству прошедшего через измерительное сечение устройства объема молока. Если поток расхода превышает поток подачи и приемная камера 9 опорожняется, поплавок поплавкового клапана 11 опускается и закрывает отверстие, образуемое торцом трубы 3 преобразователя расхода 2 и поток молока через этот трубопровод прекращается.

На рис. 5 представлена функциональная схема системы контроля потоков молока, определяющая режимы работы оборудования и перечень контролируемых и регулируемых параметров.

Под действием вакуума молоковоздушная смесь по молокопроводам с доильных аппаратов от группы коров поступает в групповой преобразователь потока (ПП) 1 и, отделяясь от воздуха, накапливается в нем. Затем по мере накопления молоко поступает в групповой электромагнитный преобразователь расхода (ЭПР) 2. Далее молоко со всех групп коров поступает в релизер 3, и далее проходит через ЭПР доильной установки 5 под напором, создаваемым универсальным молочным насосом НМУ-6 4. Все молоко скапливается в молочном танке 6, где при необходимости сдачи молока, может быть перекачено молочным насосом 7 через ЭПР выдачи с фермы 8 в транспортируемую емкость (молоковоз).

В результате взаимодействия потока молока с магнитным полем катушек, питающихся с блока питания электромагнитов 9, на электродах ЭПР образуется разность потенциалов пропорциональная объемному расходу молока, которая снимается в измерителе разности потенциалов 10 электродных датчиков. В вычислительном блоке 11 производится обработка сигнала и перевод его в суммарный расход молока, который сохраняется в энергонезависимой памяти блока, а также может быть отображен на жидкокристаллическом дисплее, распечатан с помощью принтера или передан через модем на удаленный сервер или персональный компьютер.



**Рис. 5. Функциональная схема электромагнитной системы контроля потоков молока для фермы на 200 голов:**

1 – групповой ПП; 2 – групповой ЭПР; 3 – релизер; 4 – молочный насос НМУ-6; 5 – ЭПР доильной установки; 6 – молочный танк; 7 – молочный насос; 8 – ЭПР выдачи с фермы; 9 – блок питания электромагнитов; 10 – измеритель разности потенциалов; 11 – вычислительный блок;  $V_p$  – рабочий объем релизера;  $H$  – уровень молока в релизере;  $Q_p$  – поток подачи молока;  $Q_p$  – поток расхода;  $Ус$  – усилительное звено

На рис.6 изображена электромагнитная система контроля потоков молока, которая успешно прошла испытания в ЗАО "Агроферма Борец".

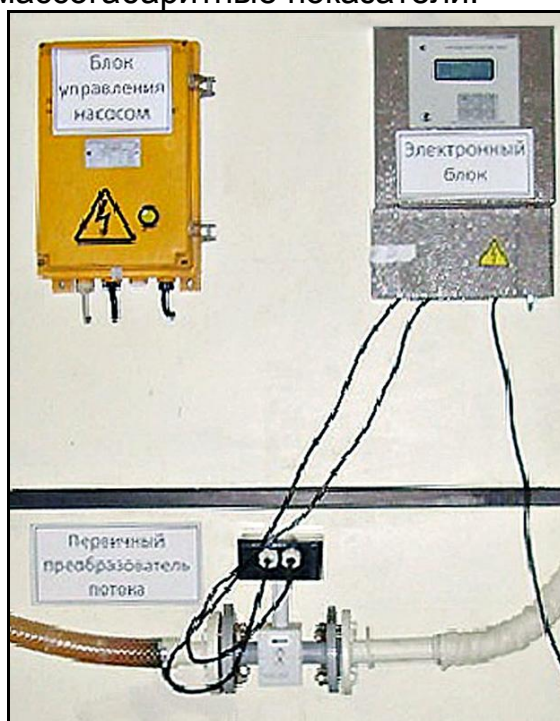
Технические характеристики разработанной электромагнитной системы контроля потоков молока представлены ниже.

### Технические характеристики

Принцип действия	Электромагнитный
Контроль показаний	Дистанционный
Основная относительная погрешность, %	Не более 0,8
Диапазон расхода, м <sup>3</sup> /ч	0,1–10
Потребляемая мощность, кВт	До 0,82
Количество подключаемых первичных электромагнитных преобразователей потока	1–6

Преимуществами разработанного электромагнитного устройства для дистанционного контроля потоков молока на фермах являются:

- высокая надежность при эксплуатации;
- отсутствие изнашиваемых элементов;
- высокая точность измерения;
- простота обслуживания и ухода;
- сохранение результатов измерения в энергонезависимой памяти до 90 сут.;
- возможность передачи результатов по локальной сети, интернету или вывода на печатное устройство;
- минимальная площадь контакта измерительных поверхностей с продуктом измерения;
- высокое быстродействие функционирования;
- улучшенные массогабаритные показатели.



**Рис. 6. Электромагнитное устройство для дистанционного контроля потоков молока на фермах**

### **Выводы**

Разработанный комплект оборудования обеспечивает комплексный учет молока на фермах: индивидуальный, с погрешностью  $\pm 4\%$ ; групповой, с погрешностью  $\pm 0,81\%$ ; с доильной установки, с погрешностью  $\pm 0,73\%$  и при выдаче с фермы (коммерческий учет), с погрешностью  $\pm 0,6\%$ . При этом обеспечивается необходимая степень изолированности молока от окружающей среды и наименьшая площадь контакта с внутренней поверхностью оборудования для контроля потоков молока, что является одним из важнейших критериев при оценке доильного оборудования.

### Список литературы

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справ. Кн. 1. / П.П. Кремлевский. – [5-е изд., перераб. и доп.]. – Спб.: Политехника, 2002. – 409 с.
2. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справ. Кн. 2 / П.П. Кремлевский; под общ. ред. Е.А. Шорникова. – [5-е изд., перераб. и доп.]. – Спб.: Политехника, 2004. – 412 с.
3. Пат. № 2216165 Российская Федерация. Устройство для индивидуального учета молока и взятия средней пробы / Марьяхин Ф.Г., Учеваткин А.И., Коршунов А.Б., Орлов А.А.; заявл. 23.04.2002; опуб. 20.11.2003, Бюл.№ 32.
4. Пат. № 2247493 Российская Федерация. Устройство для учета молока при раздельном выдаивании четвертей вымени коровы / Марьяхин Ф.Г., Учеваткин А.И., Коршунов Б.П., Орлов А.А., Юшкова Л.Г.; заявл. 03.09.2003; опуб. 10.03.2005, Бюл. № 7.
5. Пат. № 2444182 Российская Федерация Устройство для учета молока в молокопроводах животноводческих ферм / Марьяхин Ф.Г., Учеваткин А.И., Коршунов Б.П., Коршунов А.Б. Коптев В.С., Власов А.В.; заявл. 10.06.2010; опуб. 10.03.2012, Бюл. № 7.
6. Цой Ю.А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм / Ю.А. Цой. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 424 с.

*Розроблено комплект обладнання для індивідуального, групового, загального та комерційного обліку молока у вакуумних і напірних молокопроводах, що забезпечує високу точність і збереження якості молока.*

***Індивідуальний, груповий, загальний, комерційний, облік молока, електромагнітний, вакуумні і напірні молокопроводи.***

*A set of equipment for the individual, group, general and commercial accounting of milk in vacuum and pressure milk line was developed. The device ensures the high accuracy and preservation of the quality of milk.*

***Individual, general, shared, commercial, accounting milk, electromagnetic, vacuum and pressure milk line.***

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СОЛНЕЧНОМ ВОЗДУШНОМ КОЛЛЕКТОРЕ ТРАНСПИРАЦИОННОГО ТИПА

*И.К. Жмакин, кандидат технических наук  
Всероссийский научно-исследовательский институт  
электрификации сельского хозяйства, г. Москва*  
*Л.И. Жмакин, доктор технических наук  
Д.Г. Иванов, аспирант\**  
*Московский государственный университет дизайна  
и технологии, г. Москва*

*Описана математическая модель теплообмена в транспирационном солнечном коллекторе с плоским пористым абсорбером из нетканого материала. Проведен расчет температурных полей в абсорбере, теплопроизводительности и эффективности коллектора в зависимости от скорости воздуха и интенсивности солнечной радиации.*

***Транспирационный солнечный коллектор, плоский пористый абсорбер, нетканый материал, фильтрация воздуха, эффективность коллектора.***

Воздушные солнечные коллекторы способны обеспечить умеренный подогрев атмосферного воздуха с последующей подачей его в разнообразные сушильные установки, системы отопления зданий, горелки теплогенераторов [6]. Известны коллекторы конвективного и транспирационного типов. В первом – поток воздуха омывает непроницаемую поверхность абсорбера, нагреваемую солнечным излучением, а во втором – происходит фильтрационное движение воздуха сквозь пористую структуру абсорбера. Такой абсорбер может быть выполнен, например, в виде перфорированного металлического листа или слоев металлических сеток. Возможно также использование пористых текстильных материалов (тканей или нетканых полотен).

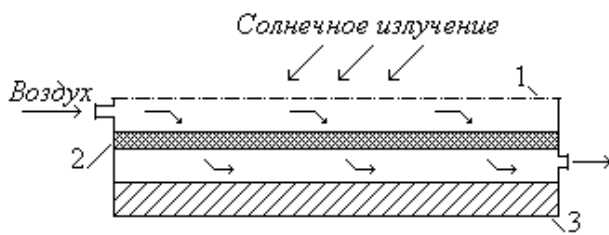
В транспирационных коллекторах лучистый тепловой поток переносится теплопроводностью вглубь пористого абсорбера и передается воздуху за счет объемной теплоотдачи. Это позволяет заметно интенсифицировать процесс подогрева благодаря сильно развитой поверхности теплообмена [5–10].

**Цель исследований** – разработка математической модели транспирационного воздушного коллектора с текстильным абсорбером и расчет его теплотехнических характеристик при различных внешних условиях.

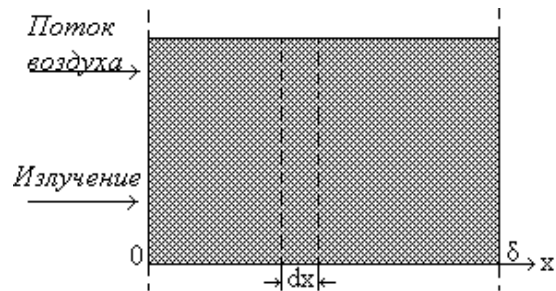
**Материалы и методика исследований.** На рис. 1 показана принципиальная схема коллектора, а на рис. 2 – расчетная схема теплопереноса в пористом абсорбере.

---

\* Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Л.И. Жмакин.



**Рис. 1. Схема транспирационного коллектора:**  
1 – прозрачное покрытие; 2 – пористый абсорбер; 3 - теплоизоляция



**Рис. 2. Расчетная схема абсорбера**

Перенос теплоты между взаимопроникающими средами в пористом абсорбере воздушного коллектора рассматривался в стационарном одномерном приближении. Были приняты допущения об изотропности теплопроводности материала абсорбера и независимости его теплофизических свойств, а также свойств воздуха от температуры. Тогда процесс теплообмена можно описать следующей системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \lambda_1 \frac{d^2 t_1}{dx^2} - \alpha_v (t_1 - t_2) = 0; \\ \rho_2 c_{p2} w \frac{dt_2}{dx} = \lambda_2 \frac{d^2 t_2}{dx^2} + \alpha_v (t_1 - t_2), \end{cases} \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha_v$  – объемный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>3</sup>·К);  $c_p$  – изобарная теплоемкость, Дж/(кг·К);  $t$  – температура, К;  $w$  – средняя скорость движения воздуха в микроканалах, м/с, связанная со скоростью фильтрации  $w_\phi$  выражением  $w = w_\phi / \Pi$ , где  $\Pi$  – пористость материала абсорбера,  $x$  – координата поперек пористого слоя; индексы 1 и 2 относятся к пористой матрице и воздуху, соответственно.

Система (1) решалась численно; граничные условия (плотность теплового потока и температура воздуха) задавались на верхней облучаемой поверхности абсорбера, после чего рассчитывались распределения температур сред по толщине пористого слоя в зависимости от скорости фильтрации воздуха, а также теплопроизводительность и эффективность коллектора.

Модельные расчеты были проведены для опытного образца транспирационного воздушного коллектора со следующими конструктивными характеристиками: корпус из ПВХ профиля (размеры 1430x695x85 мм); прозрачное покрытие – лист сотового поликарбоната толщиной 4 мм; абсорбер – нетканое полотно (1360x620x5 мм) из полиэфирных волокон, плотно натянутое внутри корпуса и окрашенное в черный цвет.

Плотность теплового потока на обогреваемой стенке абсорбера определялась по уравнению

$$q_{cm} = E\eta_o - K_n(t_{cm} - t_o), \quad (2)$$

где  $E$  – интенсивность суммарной солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>;  $\eta_o$  – оптический КПД коллектора;  $K_n$  – коэффициент теплопередачи через прозрачное покрытие, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $t_{cm}$  и  $t_o$  – температура абсорбера и окружающей среды соответственно, К. Расчеты показали, что коэффициент  $K_n$  зависит от скорости фильтрации воздуха, температуры абсорбера и скорости ветра; для опытного образца коллектора он изменялся в диапазоне 3,5–4,3 Вт/м<sup>2</sup>·К. Расчетное значение оптического КПД коллектора составило 0,72.

Для определения коэффициентов объемной теплоотдачи в пористых материалах известны эмпирические соотношения [2–4], расчеты по которым существенно различаются (в 3–7 раз). Нами использовалось критериальное уравнение, приведенное в [3]:

$$Nu = 0,004 Re Pr \quad (3)$$

В этом уравнении критерии Нуссельта и Рейнольдса определены по среднему диаметру волокон пористой среды:  $Nu_d = \alpha_v d^2 / \lambda_g$ ;  $Re_d = wd / \nu_g$ , т.е. в пористой среде рассматривается внешний теплообмен при наружном обтекании волокон воздухом. Коэффициенты объемной теплоотдачи, рассчитанные по соотношению (3), изменялись в интервале ( $10^3$ – $10^4$ ) Вт/м<sup>2</sup>·К.

Эффективный коэффициент теплопроводности волокнистого абсорбера вычислялся по рекомендованному в работе [1] уравнению, полученному с помощью теории обобщенной проводимости:

$$\lambda = \lambda_{me} \left[ \Pi^2 \lambda_g / \lambda_{me} + (1 - \Pi^2) + \frac{4\Pi(1 - \Pi)\lambda_g / \lambda_{me}}{1 + \lambda_g / \lambda_{me}} \right], \quad (4)$$

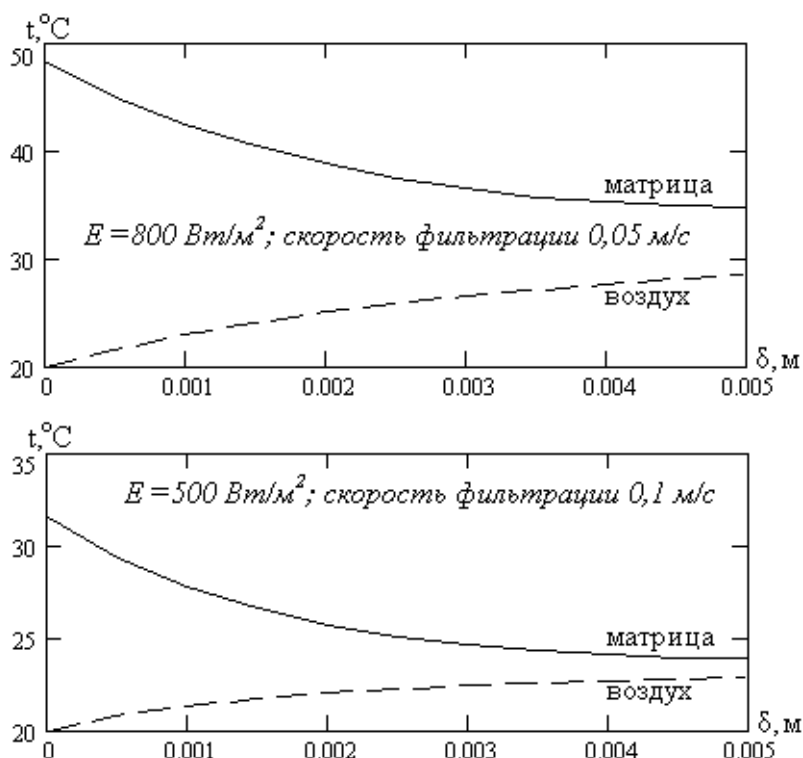
где  $\lambda_g$  и  $\lambda_{me}$  – коэффициенты теплопроводности воздуха и монолитного волокнообразующего полимера;  $\Pi$  – пористость. Расчетные значения эффективной теплопроводности абсорбера уменьшались с увеличением его пористости и в диапазоне  $0,5 < \Pi < 0,8$  составляли 0,10–0,05 Вт/м<sup>2</sup>·К, что соответствовало опытным данным.

**Результаты исследований.** На рис. 3 приведены температурные поля в абсорбере с пористостью  $\Pi=0,6$ , рассчитанные при различных интенсивностях солнечного излучения и скоростях фильтрации воздуха. Во всех случаях температура воздуха на входе в коллектор составляла 20 °С.

Выше было отмечено, что плотность теплового потока на верхней стенке абсорбера определялась по формуле (2) с учетом тепловых потерь. В этой формуле присутствует неизвестная температура поверхности абсорбера. Её значением вначале задавались, а затем уточняли в ходе итерационного процесса. После расчета температурных распределений находились удельная теплопроизводительность и КПД коллектора:

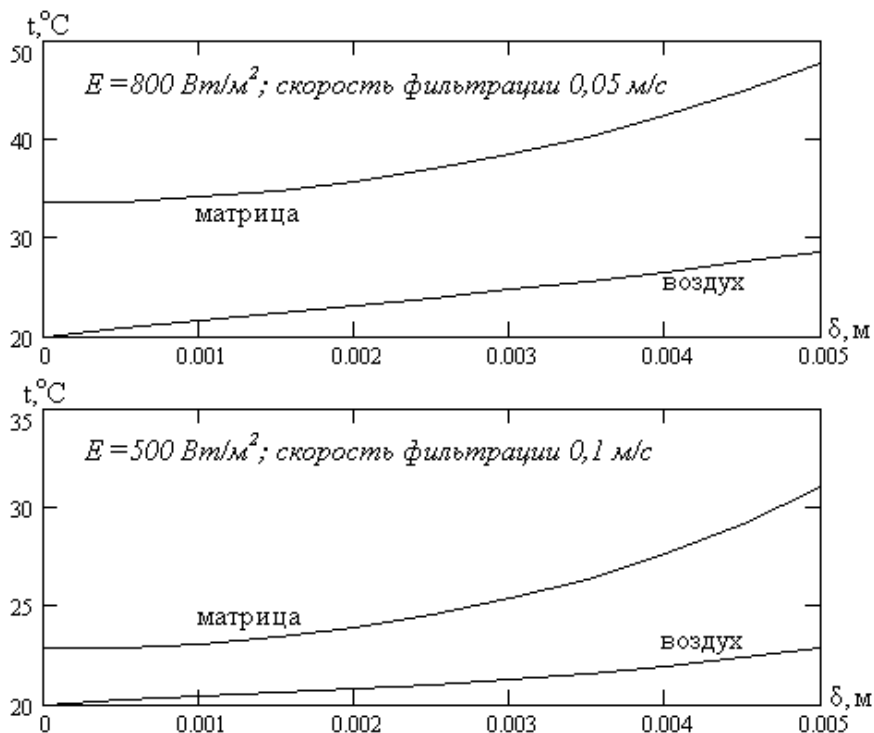
$$q_{y\partial} = g_2 c_{p2} (t_2^{6bx} - t_2^{6x}); \quad \eta = q_{y\partial} / E, \quad (5)$$

где  $g_2 = \rho_2 w \phi$  – удельный расход воздуха в абсорбере, кг/м<sup>2</sup>·с. Для двух режимов, показанных на рис. 3, значения удельной теплопроизводительности и КПД составили  $q_{y\partial}=470$  Вт/м<sup>2</sup>;  $\eta=0,59$  и  $q_{y\partial}=320$  Вт/м<sup>2</sup>;  $\eta=0,64$ , соответственно.



**Рис. 3. Распределение температур в пористом абсорбере при  $\Pi=0,6$**

Рассмотренная на рис. 1 схема транспирационного воздушного коллектора может условно считаться «прямоточной», т.к. в ней направления теплового и воздушного потоков в абсорбере совпадают. Нами были проведены расчеты и для «противоточного» варианта, когда потоки тепла и воздуха в абсорбере противоположны. Полученные результаты показаны на рис. 4.



**Рис. 4. Температурные поля в пористом абсорбере при  $\Pi=0,6$**

Удельная теплопроизводительность и КПД транспирационного коллектора в «противоточном» варианте оказались на 1–1,5 % выше, чем в «прямоточном». Однако такое различие находится в пределах погрешности вычислений и в дальнейшем может не учитываться.

В работе проанализировано влияние теплопроводности пористого абсорбера на эффективность нагрева воздуха. Для этого был проведен расчет температурных полей при фильтрации воздуха в абсорбере из латунной сетки. В данном случае на всех режимах удельная выработка тепла в коллекторе повышалась на 4,5–5,4 %, а температурное поле абсорбера приближалось к равномерному. Благодаря увеличению среднего температурного напора между пористой матрицей и движущимся через нее воздухом возрастал и передаваемый тепловой поток.

### **Выводы**

Математическое моделирование подтвердило достаточно высокую эффективность воздушного солнечного коллектора транспирационного типа с текстильным абсорбером. Расчеты гидравлических сопротивлений абсорбера с пористостью  $\Pi = 0,6$  показали, что падение давления в нем при скорости фильтрации воздуха 0,1 м/с составляет 18 Па. В этих условиях мощность, необходимая для привода вентилятора, не превышает 2,5 Вт.

Полученные в работе расчетные результаты нуждаются в экспериментальной проверке.

### **Список литературы**

1. Дульнев Г.Н. Теплопроводность смесей и композиционных материалов / Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.
2. Зейгарник Ю.А. Опытные данные по теплоотдаче и гидравлическому сопротивлению в неупорядоченных пористых структурах / Ю.А. Зейгарник, Ф.П. Иванов, Н.П. Икрянников // Теплоэнергетика. – 1991. – №2. – С. 33–38.
3. Пелевин Ф.В. Теплообмен и гидравлическое сопротивление в пористых сетчатых материалах / Ф.В. Пелевин // Тр. 2-й Российской нац. конф. по теплообмену. – М., 1998. – Т.5. – С. 254–257.
4. Теплообменные устройства газотурбинных и комбинированных установок / [под ред. А.И.Леонтьева]. – М: Машиностроение, 1985. – 360 с.
5. Arulanandam S. J., K.G.T. Hollands and E. Brundett. (1999). A CFD Heat Transfer Analysis of the Transpired Collector Under No-Wind Conditions, Solar Energy, V. 67, 1999. – P. 93–100.
6. Duffie J.A, Beckman W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, 2 Ed., J.Wiley & Sons, USA, 1991. – 919 p.
7. Dymond C. and C. Kutscher. Development of a Flow Distribution and Design Model for Transpired Solar Collectors, Solar Energy, V. 60, 1997. –P. 291–300.
8. Gawlik K.M., Christensen C.B., Kutscher C.F., A Numerical and Experimental Investigation of Low-conductivity Unglazed Transpired Solar Air Heaters, J. of Solar Energy Engineering V. 127, 2005. – P. 153–155.
9. Fleck B.A., R.M. Meier and M.D. Matovic. (2002). A Field Study of the Wind Effects on the Performance of an Unglazed Transpired Solar Collector, Solar Energy, V. 73, 2002. – P. 209–216.

10.Kutscher C.F., C.B. Christensen and G.M. Barker. Unglazed Transpired Solar Collectors: Heat Loss Theory, J. of Solar Energy Engineering, V. 115, 1993. – P. 182–188.

*Описано математичну модель теплообміну в транспіраційному сонячному колекторі з плоским пористим абсорбером з нетканого матеріалу. Проведено розрахунок температурних полів в абсорбері, теплопродуктивності та ефективності колектора залежно від швидкості повітря та інтенсивності сонячної радіації.*

**Транспіраційний сонячний колектор, плоский пористий абсорбер, нетканий матеріал, фільтрація повітря, ефективність колектора.**

*A mathematical model have been described concerned the heat transfer in transpired solar collector provided with flat porous absorber fabricated from nonweave material. The temperature distributions in the absorber as well, as the collector's capacities and efficiencies have been calculated depending on air velocities and the solar radiation intensities.*

**Transpired solar collector, flat porous absorber, nonweave material, air filtration, collector's efficiency**

УДК 62-533.65

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ СВІТЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН У СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ГРУНТУ**

**В.В Козирський, доктор технічних наук  
І.М.Болбот, кандидат технічних наук  
Ю.О. Батанов, аспірант\***

*Розглянуто математичну модель оцінювання впливу світлозабезпечення на ріст та розвиток рослин у системі рослина-ґрунт-повітря. Модель описує якісні показники росту і розвитку рослини, що знаходиться в тісній взаємодії з динамікою параметрів навколишнього середовища в спорудах закритого ґрунту.*

**Математична модель, світлозабезпечення, фотосинтез, інтенсивність освітлення, світловий потік, фотосинтетично-активна радіація, пряма і розсіяна радіація, споруда закритого ґрунту.**

Практичний досвід експлуатації автоматичних систем керування в тепличних господарствах дозволяє зробити висновок, що світлозабезпе-

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.В Козирський

© В.В Козирський, І.М.Болбот, Ю.О. Батанов, 2014

10.Kutscher C.F., C.B. Christensen and G.M. Barker. Unglazed Transpired Solar Collectors: Heat Loss Theory, J. of Solar Energy Engineering, V. 115, 1993. – P. 182–188.

*Описано математичну модель теплообміну в транспіраційному сонячному колекторі з плоским пористим абсорбером з нетканого матеріалу. Проведено розрахунок температурних полів в абсорбері, теплопродуктивності та ефективності колектора залежно від швидкості повітря та інтенсивності сонячної радіації.*

**Транспіраційний сонячний колектор, плоский пористий абсорбер, нетканий матеріал, фільтрація повітря, ефективність колектора.**

*A mathematical model have been described concerned the heat transfer in transpired solar collector provided with flat porous absorber fabricated from nonweave material. The temperature distributions in the absorber as well, as the collector's capacities and efficiencies have been calculated depending on air velocities and the solar radiation intensities.*

**Transpired solar collector, flat porous absorber, nonweave material, air filtration, collector's efficiency**

УДК 62-533.65

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ СВІТЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН У СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ГРУНТУ**

**В.В Козирський, доктор технічних наук  
І.М.Болбот, кандидат технічних наук  
Ю.О. Батанов, аспірант\***

*Розглянуто математичну модель оцінювання впливу світлозабезпечення на ріст та розвиток рослин у системі рослина-ґрунт-повітря. Модель описує якісні показники росту і розвитку рослини, що знаходиться в тісній взаємодії з динамікою параметрів навколишнього середовища в спорудах закритого ґрунту.*

**Математична модель, світлозабезпечення, фотосинтез, інтенсивність освітлення, світловий потік, фотосинтетично-активна радіація, пряма і розсіяна радіація, споруда закритого ґрунту.**

Практичний досвід експлуатації автоматичних систем керування в тепличних господарствах дозволяє зробити висновок, що світлозабезпе-

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.В Козирський

© В.В Козирський, І.М.Болбот, Ю.О. Батанов, 2014

чення в теплиці змінюється за випадковим алгоритмом, що ускладнює його забезпечення оптимальним значенням [1, 2]. Ця особливість не дозволяє здійснити одноразове настроювання обладнання на постійний оптимальний режим. Крім того, параметри таких систем змінюються в часі, що обумовлено зміною параметрів об'єкта, а тому актуальною є проблема розробки нової комп'ютерно-інтегрованої системи управління технологічним процесом у промисловій теплиці, яка буде враховувати вплив світлозабезпечення на розвиток та врожайність рослини.

Автоматичні системи управління такого типу в першу чергу повинні приймати рішення базуючись на математичних розрахунках [3, 5], які б враховували вплив світлозабезпечення на ріст та розвиток рослини.

**Мета досліджень** – побудова математичної моделі оцінювання впливу світлозабезпечення на розвиток рослин у спорудах закритого ґрунту на основі комбінованої фізико-статистичної схеми оцінки та аналізу явищ, що протікають у системі рослина-ґрунт-повітря.

**Матеріали та методика досліджень.** Проаналізовано джерела щодо впливу факторів навколишнього середовища на розвиток рослин. Методика дослідження ґрунтується на вивченні впливу світлозабезпечення на показники росту і розвитку рослини.

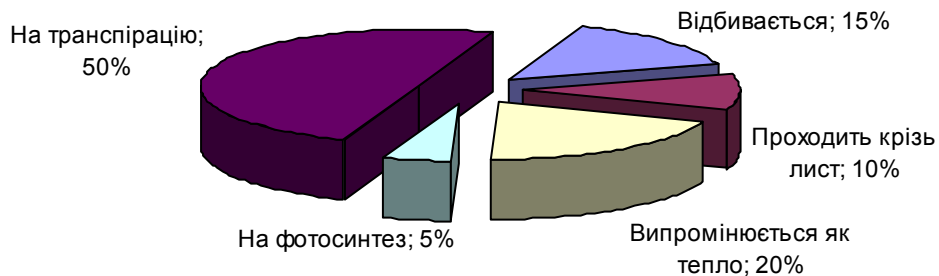
Аналіз літературних джерел [7, 8] свідчить про те, що всю кількість чинників, які впливають на рослину можна звести до світла, тепла, води, поживних речовин і вуглекислоти. Всі ці чинники рослина вбирає з навколишнього середовища, переробляє, частково засвоює і потім формується врожай. Цілоком природно, щоб весь цей потік енергії і маси, що надходить до рослини, засвоювався рослиною в оптимальних кількостях. Для рослини однаково погано і дуже малі, і дуже великі порції води, поживних елементів, тепла і т. д. Враховуємо, що кожен із цих чинників є досить складним і багатокомпонентним, а одночасне їх поєднання призводить до дуже складної системи, що зумовлює формування врожаю в цілому. З усього розмаїття факторів, що впливають на врожайність, одним із вагомих є світлозабезпечення.

Тільки на світлі в зелених листках відбувається найважливіший фізіологічний процес – фотосинтез, у процесі якого створюється близько 95 % органічної маси врожаю й акумулюється вся енергія, що накопичується в рослині.

Загальновідомо, що променева енергія Сонця вловлюється листом не цілоком. Частина енергії проходить повз листок, природно гублячись для фотосинтезу. З енергії, що падає на листок, 15 % відбивається в навколишнє середовище, 10 % проходить крізь листок, оскільки листок дуже тонкий, і 75 % поглинається листом, з них близько 5 % загальної кількості променевої енергії використовується для фотосинтезу, а 20 % та більше перетворюється в тепло, інші 50 % використовуються на транспірацію (рис. 1) [7].

При достатній кількості сонячного випромінювання фотосинтез у рослинах відбувається набагато інтенсивніше, ніж дихання, тому в них накопичуються органічні речовини. В міру зменшення інтенсивності випромінювання процес фотосинтезу слабшає, і нарешті, настає такий момент, коли інтенсивність фотосинтезу і дихання однакові. При подальшому зме-

ншенні інтенсивності випромінювання починає переважати процес дихання над процесом фотосинтезу, і рослини замість нагромадження органічних речовин витрачають їх, внаслідок чого в них припиняється ріст і опадає листя, а потім вони гинуть.



**Рис. 1. Використання та розподіл світла листком**

Більшість тепличних рослин залежно від своїх фізіологічних особливостей ростуть і плодоносять при освітленості 8–12 тис. лк. Такої потужності потік спостерігається наприкінці лютого та у вересні. Взимку освітленість на поверхні Землі опівдні на відкритому місці сягає близько 4–5 тис. лк, що приблизно у 15 разів менша від освітлення у ці ж години влітку. Ще менше променевої енергії надходить на Землю вранці і після полудня. Освітлення культивацийних споруд у цей час зовсім низьке. Внаслідок відбиття і поглинання світла склом воно зменшується приблизно наполовину в порівнянні з освітленням на відкритому місці, оскільки близько 10 % падаючого світла відбивається склом, 10 % поглинається конструкцією теплиць. При 30 %-ній втраті світла внаслідок забруднення покритті теплиць загальні втрати складають 50 %, з них на ґрунт надходить 20 % світла, то на частку рослини залишається лише 30 % [3].

Найважливішою для життя рослин є видима частина оптичного випромінювання (380–710 нм), що сприймається людським оком як світло. Її часто називають фотосинтетично активною радіацією (ФАР), оскільки багато фізіологічних процесів не можуть проходити без видимого випромінювання світла.

Розрізняють пряму і розсіяну сонячну радіацію. Інтенсивність її залежить від висоти стояння сонця, чистоти атмосфери. Співвідношення прямої і розсіяної радіації залежить від пори року і географічної широти місцевості. Восени й взимку переважає розсіяна радіація. Поряд з інтенсивністю освітлення на ріст і формування врожаю сильно впливає тривалість денного освітлення.

Розглянувши світловий фактор, можемо назвати ряд величин, які характеризують світлову енергію: освітленість, тривалість сонячного світла, сумарна радіація тощо. Причому кожен з цих величин, може належати до самої рослини, ґрунту, повітря, а також до різних поєднань цих об'єктів.

Як єдиний і найвпливовіший показник використаємо деяку особливість впливу світлозабезпечення на ріст та розвиток рослини. Сума світлозабезпечення за вегетаційний період або за інший відрізок часу, протягом якого протікають відповідальні етапи розвитку культури, являє собою лише підсумкове значення, до якого входять безліч світлових явищ, що мають місце в системі рослина-грунт-повітря.

Світло – це один із основних факторів, що лімітують ріст і розвиток рослин. Розглянемо вплив освітленості на рослину томата. Мінімальна освітленість, при якій ще можливий вегетативний ріст рослини 2..3 тис. лк. При освітленості нижче цього значення розпад асимілянтів на дихання перевищить їх прихід від фотосинтезу. При достатній наявності сонячних променів прискорюється розвиток рослин: вони раніше цвітуть і плодоносять. При похмурій, навіть теплій погоді, цвітіння затримується, і плодоношення настає пізніше. При сонячному опроміненні 7 МДж (1,94 кВт·ч) на добу та звичайному вмісті в повітрі CO<sub>2</sub> (0,03 %), врожайність томатів коливається в межах 40..150 г з одного куща за добу і залежить від рівня світлозабезпечення рослини (таблиця).

**Вплив світлозабезпечення на врожайність томатів**

Світлозабезпечення $m$ , Мдж	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
Врожайність томатів $y$ , г	55	57	60	66	75	87	105	125	150

**Результати досліджень.** Оцінка розвитку та врожайності сільськогосподарської культури з заданими генетичними якостями щодо світлозабезпечення зводиться до вирішення рівняння вигляду [6]:

$$Y = f(m), \quad (1)$$

де  $m$  – світлозабезпечення.

Світлозабезпечення – неодмінна умова існування зелених рослин. Під її впливом відбувається процес фотосинтезу, в ході якого рослини з вуглекислого газу, води і мінеральних речовин ґрунту синтезують первинні органічні речовини, виділяючи в атмосферу кисень. Сонячне світло створює освітленість, яка характеризується сумарною дією прямої, розсіяної і відбитої радіації. Освітленість пропорційна інтенсивності сонячної радіації. Світлозабезпечення  $m$  може бути записане як:

$$m = \frac{R^{(n)}}{R}, \quad (2)$$

де  $R^{(n)}$  – частина радіації, що досягає поверхні ґрунту за наявності рослинного шару,  $R$  – вся радіація, що може досягти поверхні ґрунту.

Таким чином, на частку рослин та міжрослинного шару повітря, висотою від верхівок рослин  $H$  до поверхні ґрунту, надходить  $R^{(H)} = R - R^{(n)}$  або частина її від величини  $R$ , що дорівнює  $m$ . Значення величини  $R^{(n)}$ ,

що утилізується ґрунтом, змінюється в межах  $m=0..1$ . Якщо  $m = 0$ , то рослини настільки розвинені, що своєю суцільною масою не пропускають жодної частини променистої енергії, яка дійшла б до поверхні ґрунту. І навпаки, при  $m = 1$  через рідку і малорозвинену рослинність вся величина  $R$  досягає ґрунту.

Запишемо величину  $m$  інакше:

$$m = \frac{R^{(n)}}{R^{(H)} + R^{(n)}} \quad (3)$$

Оскільки весь радіаційний баланс  $R$  складається з частини радіації, що досягає поверхні ґрунту, і залишку,  $R^{(H)}$  формується на висоті крон рослин  $H$  [3]. Введемо інший коефіцієнт  $m_1 = 1 - m$ , який, навпаки, показує своїм зростанням від 0 до 1 збільшення густини рослинності від повної розрідженості до повної загущеності рослин. Отримаємо:

$$m_1 = \frac{R^{(H)}}{R} \quad (4)$$

Запишемо кожен елемент  $R$  (як  $R^{(n)}$ , так і  $R^{(H)}$ ) у розгорнутому вигляді:

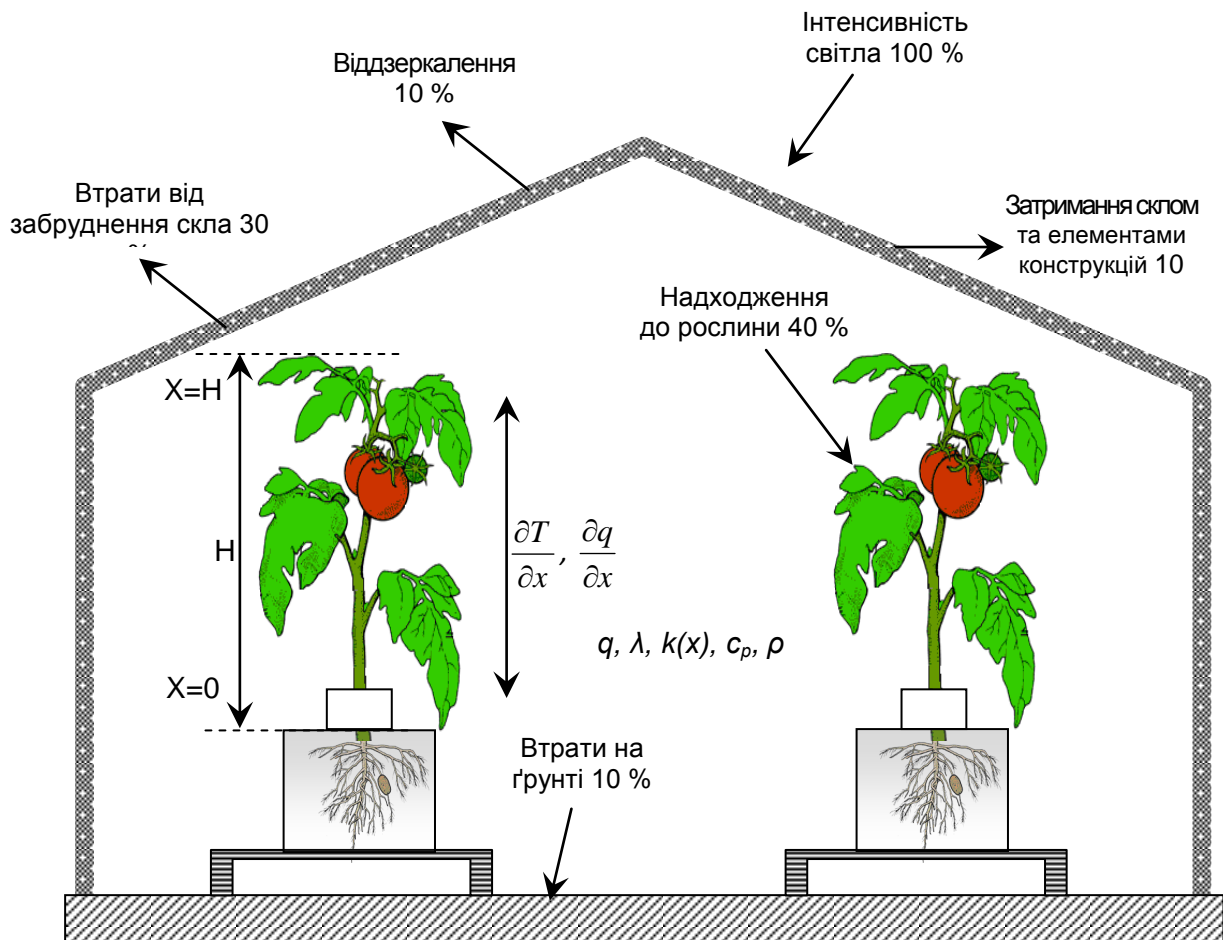
$$R^{(n)} = \lambda \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} + c_p \rho k(x) \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} + L \rho k(x) \left. \frac{\partial q}{\partial x} \right|_{x=0} \quad (5)$$

$$R^{(H)} = -c_p \rho k(x) \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=H-0} + c_p \rho k(x) \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=H+0} - L \rho k(x) \left. \frac{\partial q}{\partial x} \right|_{x=H-0} + L \rho k(x) \left. \frac{\partial q}{\partial x} \right|_{x=H+0} + R^{(n)}, \quad (6)$$

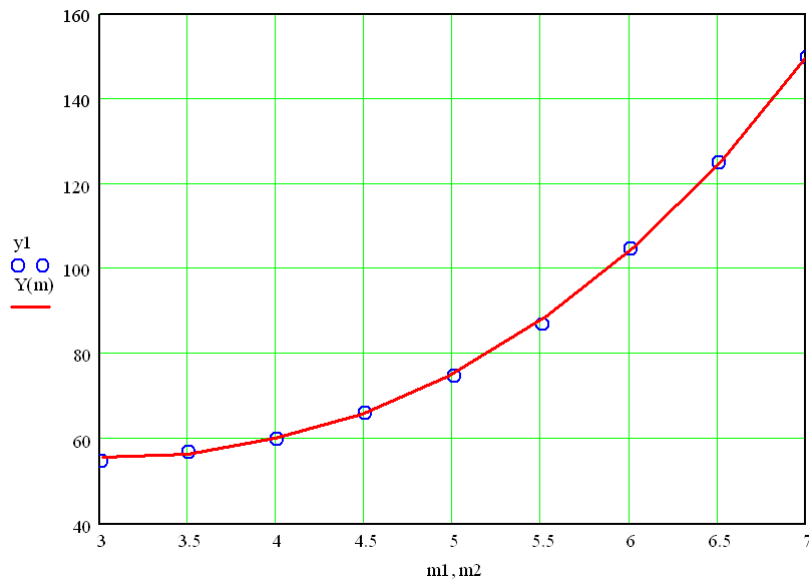
де  $T$  – температура системи ґрунт – повітря вздовж координати  $x$ , додатні значення якої направлені в сторону повітря  $x > 0$ , а від'ємні в сто-

рону ґрунту  $x < 0$ , °C;  $q$  – абсолютна вологість повітря, %;  $\frac{\partial T}{\partial x}$  і  $\frac{\partial q}{\partial x}$  – вертикальні градієнти температури і вологості повітря;  $H$  – висота рослин, м;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності ґрунту, Вт/(м·К);  $k(x)$  – коефіцієнт турбулентності;  $c_p$ , – теплоємність повітря, Дж/(кг·К);  $\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>.

Рівняння (5) являє собою частину радіації на рівні поверхні ґрунту  $X = 0$ , рівняння (6) частина радіації на висоті крон рослин  $X = H$ . Рівняння (6) відображає той факт, що рівень радіації на рівні  $H$  являє собою алгебраїчну суму стрибків потоків тепла турбулентності і випаровування. Рослина як би обумовлює виникнення розриву в величинах потоків турбулентного тепла і вологи, викликаного випаровуванням. Ефект від цього розриву, як показує досвід, буде максимальним на верхньому рівні крон рослин.



**Рис. 2. Розподіл світла в теплиці**



**Рис. 3. Залежність врожайності томатів від світлозабезпечення в теплиці**

ooo – дослідні значення; ----- – результати апроксимації за виразом (7)

Проведемо дослідження впливу світлозабезпечення на врожайність томата. Із попереднього розгляду таблиці бачимо, що модель цієї залежності є сумою двох експонент:

$$Y(m) = k_0(k_1 e^{-k_2 \cdot m} + k_3 e^{-k_4 \cdot m}), \quad (7)$$

де  $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4$  – коефіцієнти моделі.

Коефіцієнти моделі  $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4$  підлягають визначенню [4] на основі обробки статистичних даних. Отримані коефіцієнти моделі  $k_0 = 7$ ,  $k_1 = 1.2399$ ,  $k_2 = -2.826$ ,  $k_3 = 15.871$ ,  $k_4 = 3.3669$  підставимо в рівняння (7) та побудуємо залежність впливу світлозабезпечення на врожайність томата (рис. 3).

У результаті всієї цієї комбінованої фізико-статистичної схеми оцінки та аналізу явищ, що досліджено, з'ясовано, яким повинен бути рівень світлозабезпечення, щоб отримати оптимальну величину врожаю  $Y$  враховуючи вартісно-економічні показники.

### Висновки

Встановлено, що одним із головних чинників, що впливає на розвиток та врожайність томатів є світлозабезпечення. Запропоновано математичну модель оцінювання впливу світлозабезпечення на розвиток та врожайність томатів у системі рослина-грунт-повітря для споруд закритого ґрунту. Встановлено, що при тривалому світлозабезпеченні, відбувається зростання врожаю, але до певної межі.

### Список літератури

1. Алиев Э. А. Выращивание овощей в гидропонных теплицах / Э.А. Алиев. – К.: Урожай, 1985. – 160 с.
2. Брызгалов В. А. Овощеводство защищенного грунта / В. А. Брызгалов, В. Е. Советкина, Н. И. Савинова: под ред. В.А. Брызгалова. – М.: Колос, 1995. – 325 с.
3. Журавлев В.В. Математические модели процессов регуляции в физиологии растений / В.В. Журавлева // Научный журнал Известия АГУ. –Барнаул, 2008. – Т.1. – №57. – С. 43 – 57.
4. Козирський В.В. Адаптивна математична модель «Температура повітря - врожайність томатів» / В.В. Козирський, І.М. Болбот, Ю.О. Батанов // Науковий вісник НУБіП України. – 2013. – № 184, ч. 2. – С. 110 – 114.
5. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж. –СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2006. – 290 с.
6. Торнли Дж.Г.М. Математические модели в физиологии растений / Дж.Г.М. Торнли; пер. с англ. Д.М. Гродзинского. – К.: Наук. думка, 1982. – 312 с.
7. Шишко Г. Г. Теплицы и тепличные хозяйства: справ. / [Шишко Г.Г., Попов В.О., Сулима Л.Т. и др.]; под ред. Г.Г. Шишка. – К.: Урожай, 1993. – 421 с.
8. Stanghellini C. Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management: / C. Stanghellini. - Ph. D. Dissertation. – Wageningen: Agricultural University, 1987. – 150 p.

*Рассмотрена математическая модель оценки влияния светообеспечения на рост и развитие растений в системе растение-почва-воздух. Модель описывает качественные показатели роста и развития растения, которое находится в тесном взаимодействии с динамикой параметров окружающей среды в сооружениях закрытого грунта.*

***Математическая модель, светообеспечение, фотосинтез, интенсивность освещения, световой поток, фотосинтетически-активная радиация, прямая и рассеянная радиация, сооружение закрытого грунта.***

*The mathematical model estimated the impact of providing light on the growth and development of plants in the system plant-soil-air. The model describes the qualitative indicators of plant growth and development, which is in close interaction with the dynamic parameters of the environment in the plants under glass.*

***The mathematical model, providing light, photosynthesis, light intensity, luminous flux, photosynthetically-active radiation, direct and diffuse radiation, greenhouses.***

УДК 531.12

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПНЕВМОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ**

***П.Б. Клендій, В.Ю. Рамш, кандидати технічних наук  
Г.Я. Клендій, О.П. Дудар, інженери  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

*У середовищі Simulink пакету прикладних програм MatLAB розроблено комп'ютерну модель пневмотранспортної системи млина типу Р6-АВМ-15. Використовуючи модель, досліджено роботу пневмомережі при різному завантаженні пневмовіток і визначено енергоефективні режими.*

***Комп'ютерне моделювання, пневмотранспортна система, енергоефективні режими.***

Нині в нашій країні і за кордоном пневмотранспорт все ширше застосовують на різних підприємствах, де виникає необхідність транспортування зерна і продуктів його розмолу, піску, цементу, вугілля, вогнетривкої глини та інших матеріалів. Продуктивність сучасних пристроїв пневматичного транспорту досягає 300 т/год, дальність транспортування (однією

---

© П.Б. Клендій, В.Ю. Рамш,  
Г.Я. Клендій, О.П. Дудар, 2014

*Рассмотрена математическая модель оценки влияния светообеспечения на рост и развитие растений в системе растение-почва-воздух. Модель описывает качественные показатели роста и развития растения, которое находится в тесном взаимодействии с динамикой параметров окружающей среды в сооружениях закрытого грунта.*

***Математическая модель, светообеспечение, фотосинтез, интенсивность освещения, световой поток, фотосинтетически-активная радиация, прямая и рассеянная радиация, сооружение закрытого грунта.***

*The mathematical model estimated the impact of providing light on the growth and development of plants in the system plant-soil-air. The model describes the qualitative indicators of plant growth and development, which is in close interaction with the dynamic parameters of the environment in the plants under glass.*

***The mathematical model, providing light, photosynthesis, light intensity, luminous flux, photosynthetically-active radiation, direct and diffuse radiation, greenhouses.***

УДК 531.12

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПНЕВМОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ**

***П.Б. Клендій, В.Ю. Рамш, кандидати технічних наук  
Г.Я. Клендій, О.П. Дудар, інженери  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

*У середовищі Simulink пакету прикладних програм MatLAB розроблено комп'ютерну модель пневмотранспортної системи млина типу Р6-АВМ-15. Використовуючи модель, досліджено роботу пневмомережі при різному завантаженні пневмовіток і визначено енергоефективні режими.*

***Комп'ютерне моделювання, пневмотранспортна система, енергоефективні режими.***

Нині в нашій країні і за кордоном пневмотранспорт все ширше застосовують на різних підприємствах, де виникає необхідність транспортування зерна і продуктів його розмолу, піску, цементу, вугілля, вогнетривкої глини та інших матеріалів. Продуктивність сучасних пристроїв пневматичного транспорту досягає 300 т/год, дальність транспортування (однією

---

© П.Б. Клендій, В.Ю. Рамш,  
Г.Я. Клендій, О.П. Дудар, 2014

установкою без перевантаження) до 2 км, висота підйому вантажу – до 100 м [2, 5–7].

Для забезпечення роботи пневмотранспортної установки в перехідних режимах проектами передбачається запас розрідження в окремих трубах. Наявність таких запасів обумовлює підвищену витрату електроенергії та інтенсивне зношування трубопроводів ( особливо на поворотних ділянках ) та інших частин установки, які входять у зіткнення з потоком вантажу.

Пневмотранспортні установки являють собою складну розгалужену систему. Режим транспортування в кожній із труб системи залежить від властивостей джерела тиску і навантаження в інших трубах, а перехідні процеси тривають протягом доли секунди.

Дослідження режимів роботи електромеханічних систем з використанням фізичних моделей має наближений характер, оскільки фізична реалізація випадкових функцій навантаження є складною. Тому найефективнішим методом оптимізації електромеханічних систем з будь-яким збуренням по їх каналах є математичне моделювання

Отже, для розгляду роботи пневмомережі в динамічному режимі потрібно розробити математичні моделі на основі комп'ютерного моделювання. Застосування комп'ютерних систем дозволить відтворити реальність процесу транспортування і дослідити його на предмет енерговитрат

**Мета досліджень** – розробка комп'ютерної моделі пневмотранспортної системи млина типу Р6 – АВМ–15 , на основі якої провести дослідження її роботи та обґрунтувати енергоефективні режими пневмотранспортування зерна і продуктів його помолу

**Матеріали та методика досліджень.** В останні роки у практику науково-дослідних розробок широко впроваджуються персональні комп'ютери, що зумовило подальший розвиток цифрового моделювання електромеханічних систем. Нині розроблено значну кількість математичних пакетів, за допомогою яких моделюють інженерні системи, у тому числі і електромеханічні.

Ефективність застосування різних пакетів для моделювання електромеханічних систем можна оцінити критеріями обчислювальної математики, основними з яких є універсальність, мова моделювання, зручність застосування та перспективність концепції.

Універсальність моделей визначається їх повнотою, яка оцінюється можливістю різнобічного описання об'єкта, ієрархічністю, тобто здатністю до послідовного, алгоритмічного визначення закономірностей і особливостей його поведінки; комплектністю; високою продуктивністю та надійністю.

Щодо мови моделювання, то тут заслуговують на увагу моделі, які будуються із залученням пакетів прикладних програм відомих виробників.

Серед всіх існуючих прикладних програм, пакет MatLAB доводить до досконалості створення цифрових моделей електромеханічних систем.

Для побудови моделі як структурної схеми з використанням середовища Simulink застосовується графічний інтерфейс користувача (GUI).

На основі [3] розроблена нелінійна математична модель динаміки процесу пневмотранспортування млина типу Р6 – АВМ – 15 по каналу “ витрата матеріалу – витрата повітря”.

Диференціальні рівняння, які описують пневмотранспортери, будуть мати вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 (Q_1 \cdot 4.26 + G_1 \cdot 3.55) \cdot \frac{dQ_1}{dt} &= -296.343 \left[ \sum_{i=1}^{11} Q_i \right]^2 \cdot Q_1 + 0.135 \cdot n_e \cdot \sum_{i=1}^{11} Q_i \cdot Q_1 + 3.64 \cdot 10^{-5} \\
 &\cdot n_e^2 \cdot Q_1 - 65806.5 \cdot Q_1^3 - 23333 \cdot G_1^{1.067} \cdot Q_1^2 - 6.24 \cdot G_1^{0.983} - 6113 \cdot Q_1^{1.75} \cdot Q_1 \\
 (Q_2 \cdot 3.78 + G_2 \cdot 3.15) \cdot \frac{dQ_2}{dt} &= -296.343 \left[ \sum_{i=1}^{11} Q_i \right]^2 \cdot Q_2 + 0.135 \cdot n_e \cdot \sum_{i=1}^{11} Q_i \cdot Q_2 + 3.64 \cdot 10^{-5} \\
 &\cdot n_e^2 \cdot Q_2 - 68709.6 \cdot Q_2^3 - 21551 \cdot G_2^{1.067} \cdot Q_2^2 - 5.69 \cdot G_2^{0.983} - 5424 \cdot Q_2^{1.75} \cdot Q_2 \\
 (Q_3 \cdot 4.02 + G_3 \cdot 3.35) \cdot \frac{dQ_3}{dt} &= -296.343 \left[ \sum_{i=1}^{11} Q_i \right]^2 \cdot Q_3 + 0.135 \cdot n_e \cdot \sum_{i=1}^{11} Q_i \cdot Q_3 + 3.64 \cdot 10^{-5} \\
 &\cdot n_e^2 \cdot Q_3 - 68709.6 \cdot Q_3^3 - 18760.6 \cdot G_3^{1.067} \cdot Q_3^2 - 7.08 \cdot G_3^{0.983} - 5768 \cdot Q_3^{1.75} \cdot Q_3 \\
 (Q_4 \cdot 4.68 + G_4 \cdot 3.9) \cdot \frac{dQ_4}{dt} &= -296.343 \left[ \sum_{i=1}^{11} Q_i \right]^2 \cdot Q_4 + 0.135 \cdot n_e \cdot \sum_{i=1}^{11} Q_i \cdot Q_4 + 3.64 \cdot 10^{-5} \\
 &\cdot n_e^2 \cdot Q_4 - 60967.7 \cdot Q_4^3 - 22340 \cdot G_4^{1.067} \cdot Q_4^2 - 7.69 \cdot G_4^{0.983} - 6715 \cdot Q_4^{1.75} \cdot Q_4 \\
 (Q_5 \cdot 4.92 + G_5 \cdot 4.1) \cdot \frac{dQ_5}{dt} &= -296.343 \left[ \sum_{i=1}^{11} Q_i \right]^2 \cdot Q_5 + 0.135 \cdot n_e \cdot \sum_{i=1}^{11} Q_i \cdot Q_5 + 3.64 \cdot 10^{-5} \\
 &\cdot n_e^2 \cdot Q_5 - 60677.4 \cdot Q_5^3 - 23286 \cdot G_5^{1.067} \cdot Q_5^2 - 8 \cdot G_5^{0.983} - 7060 \cdot Q_5^{1.75} \cdot Q_5 \\
 (Q_6 \cdot 4.56 + G_6 \cdot 3.8) \cdot \frac{dQ_6}{dt} &= -296.343 \left[ \sum_{i=1}^{11} Q_i \right]^2 \cdot Q_6 + 0.135 \cdot n_e \cdot \sum_{i=1}^{11} Q_i \cdot Q_6 + 3.64 \cdot 10^{-5} \\
 &\cdot n_e^2 \cdot Q_6 - 18564.4 \cdot Q_6^3 - 4956 \cdot G_6^{1.067} \cdot Q_6^2 - 8.68 \cdot G_6^{0.983} - 1578 \cdot Q_6^{1.75} \cdot Q_6 \\
 (Q_7 \cdot 5.04 + G_7 \cdot 4.2) \cdot \frac{dQ_7}{dt} &= -296.343 \left[ \sum_{i=1}^{11} Q_i \right]^2 \cdot Q_7 + 0.135 \cdot n_e \cdot \sum_{i=1}^{11} Q_i \cdot Q_7 + 3.64 \cdot 10^{-5} \\
 &\cdot n_e^2 \cdot Q_7 - 18564.4 \cdot Q_7^3 - 5500 \cdot G_7^{1.067} \cdot Q_7^2 - 8.96 \cdot G_7^{0.983} - 1744 \cdot Q_7^{1.75} \cdot Q_7 \\
 (Q_8 \cdot 4.56 + G_8 \cdot 3.8) \cdot \frac{dQ_8}{dt} &= -296.343 \left[ \sum_{i=1}^{11} Q_i \right]^2 \cdot Q_8 + 0.135 \cdot n_e \cdot \sum_{i=1}^{11} Q_i \cdot Q_8 + 3.64 \cdot 10^{-5} \\
 &\cdot n_e^2 \cdot Q_8 - 18564.4 \cdot Q_8^3 - 4641 \cdot G_8^{1.067} \cdot Q_8^2 - 9.17 \cdot G_8^{0.983} - 1578 \cdot Q_8^{1.75} \cdot Q_8 \\
 (Q_9 \cdot 3.24 + G_9 \cdot 2.7) \cdot \frac{dQ_9}{dt} &= -296.343 \left[ \sum_{i=1}^{11} Q_i \right]^2 \cdot Q_9 + 0.135 \cdot n_e \cdot \sum_{i=1}^{11} Q_i \cdot Q_9 + 3.64 \cdot 10^{-5} \\
 &\cdot n_e^2 \cdot Q_9 - 9112.5 \cdot Q_9^3 - 4568 \cdot G_9^{1.067} \cdot Q_9^2 - 7.4 \cdot G_9^{0.983} - 1494 \cdot Q_9^{1.75} \cdot Q_9 \\
 (Q_{10} \cdot 7.68 + G_{10} \cdot 6.4) \cdot \frac{dQ_{10}}{dt} &= -296.343 \left[ \sum_{i=1}^{11} Q_i \right]^2 \cdot Q_{10} + 0.135 \cdot n_e \cdot \sum_{i=1}^{11} Q_i \cdot Q_{10} + 3.64 \cdot 10^{-5} \\
 &\cdot n_e^2 \cdot Q_{10} - 13387.5 \cdot Q_{10}^3 - 7860 \cdot G_{10}^{1.067} \cdot Q_{10}^2 - 15.4 \cdot G_{10}^{0.983} - 3340 \cdot Q_{10}^{1.75} \cdot Q_{10} \\
 (Q_{11} \cdot 3.36 + G_{11} \cdot 2.8) \cdot \frac{dQ_{11}}{dt} &= -296.343 \left[ \sum_{i=1}^{11} Q_i \right]^2 \cdot Q_{11} + 0.135 \cdot n_e \cdot \sum_{i=1}^{11} Q_i \cdot Q_{11} + 3.64 \cdot 10^{-5} \\
 &\cdot n_e^2 \cdot Q_{11} - 9262.5 \cdot Q_{11}^3 - 4247 \cdot G_{11}^{1.067} \cdot Q_{11}^2 - 8.4 \cdot G_{11}^{0.983} - 1549 \cdot Q_{11}^{1.75} \cdot Q_{11}
 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

На основі системи рівнянь (1) і за методикою [1] створена імітаційна модель пневмоустановки млина (рис.1), за допомогою якої можна досліджувати динамічні режими і параметри пневмомережі млина.

Використовуючи імітаційну модель пневмоустановки млина проводимо дослідження її динамічного режиму, а саме: зняття перехідних процесів у пневмовітках, визначення залежності витрат повітря від частоти обертання вентилятора у найнавантаженишій пневмовітці млина, швидкості руху повітря при проходженні завалу матеріалопроводів залежно від за-

вантаження млина, а також впливу зміни концентрації аеросуміші в пневмовітках на втрату тиску в них і на втрату тиску в колекторі.

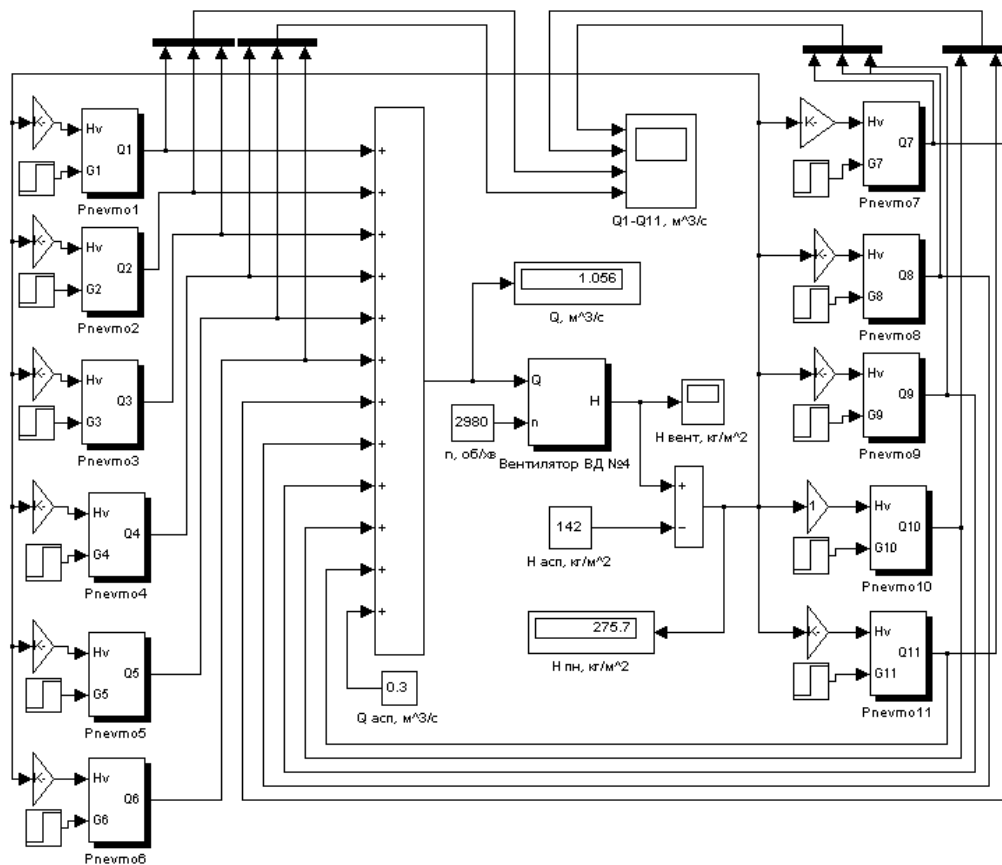


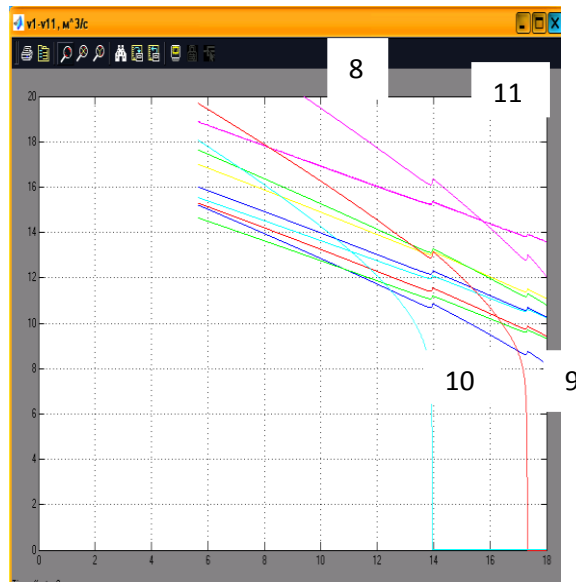
Рис.1. Комп'ютерна модель пневмоустановки млина

**Результати досліджень.** Для зняття перехідних процесів у пневмовітках млина при їх номінальному завантаженні потрібно в імітаційній моделі пневмоустановки млина на вхід блоку SubSystem – Вентилятор ВД №4 подати сигнал з блоку Ramp, який налагоджений на зменшення частоти обертання вентиляційної установки від значення 2900 об/хв. на 50 об/хв. До осцилографа під'єднують блок Scope, а через блок Mix подається сигнал з виходів Q блоків SubSystem – Pnevmo – X. Вмикають роботу моделі і на осцилографі відслідковуються перехідні процеси в пневмовітках (рис. 2).

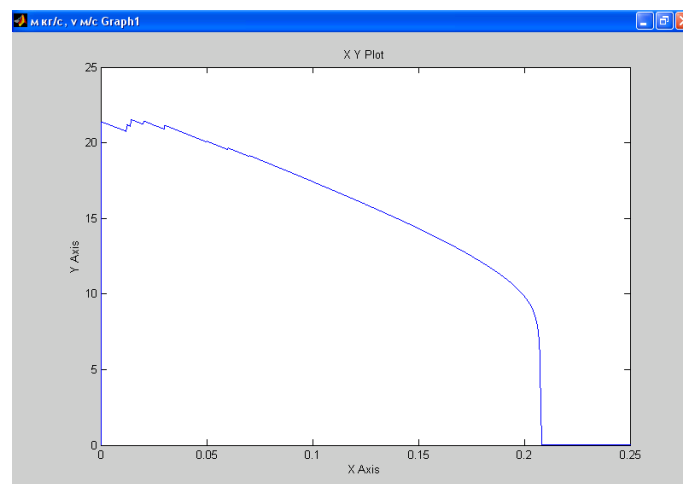
Як видно з рис.2 через 14 с проходить завал 10-ї пневмовітки, тобто вона найчутливіша до збурень. Тому, при подальших дослідженнях динаміки пневмотранспортної системи потрібно орієнтуватися на значення технологічних параметрів (втрати тиску, швидкість руху аеросуміші) в цій пневмовітці. Так, для нормальної роботи цієї пневмовітки швидкість руху аеросуміші в ній повинна становити не менше 12 м/с (див. рис 2), що відповідає частоті обертання вентиляційної установки 2300 об/хв.

Але при роботі пневмомережі завантаження матеріалопроводів змінюється стохастично в межах від 80 % до 120 % номінального значення [4], то залежно від його значення будуть змінюватися втрати тиску в колекторі, пневмовітках і відповідно швидкість руху аеросуміші в матеріалопроводах, що можна спостерігати на рис. 3, на якому наведена залежність

швидкості руху аеросуміші в 10-й пневмовітці від її завантаження. Як видно з рис. 3 для нормальної роботи пневмовітки завантаження повинно становити 0,18 кг/с при швидкості 12 м/с, більше навантаження вимагає більшої швидкості.



**Рис.2. Графіки перехідних процесів у пневмовітках млина при їх номінальному завантаженні (8-11 матеріалопроводи)**

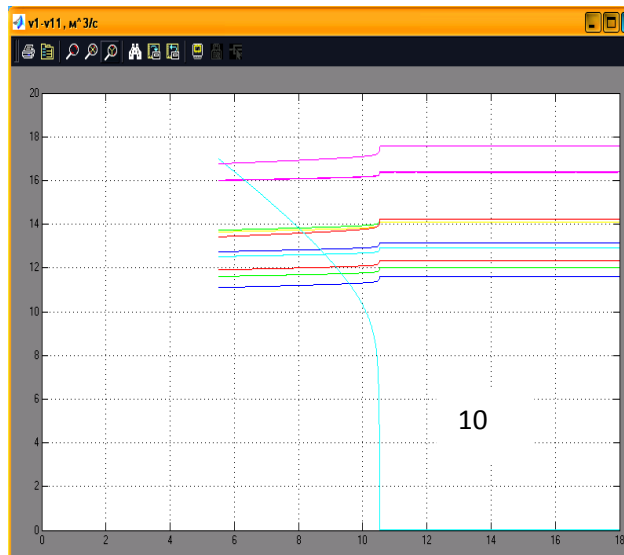


**Рис.3. Залежність швидкості руху аеросуміші 10-ї пневмовітки від її завантаження**

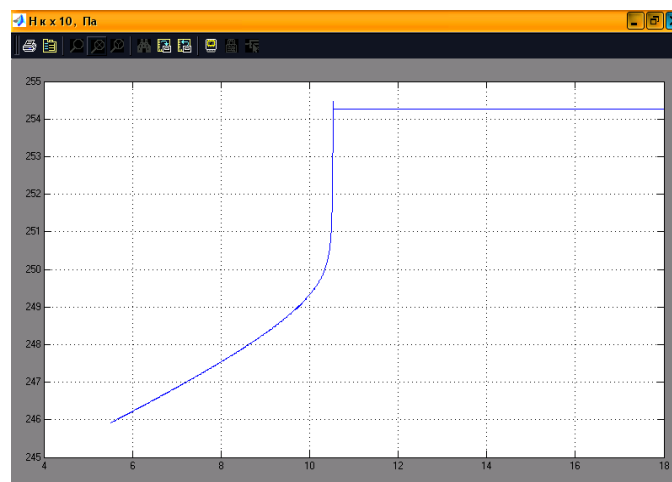
При зменшенні завантаження будуть зменшуватися втрати тиску, а при збільшенні втрати тиску зростатимуть, тому для раціональної роботи пневмотранспортної мережі потрібно в першому випадку зменшувати частоту обертання вентиляційної установки, а в другому – збільшувати.

Якщо при збільшенні завантаження пневмомережі система керування вентиляційною установкою не відреагує вчасно з підтримання необхідної швидкості руху аеросуміші в 10-й пневмовітці, то це призведе до її завалу. То-

му, потрібно визначити значення технологічних параметрів пневмосистеми, на які б орієнтувалася система керування вентиляційною установкою. Для цього в імітаційній моделі пневмоустановки млина змінюємо налагодження блоків Step, збільшуючи завантаження матеріалопроводів на 10 % при частоті обертання вентиляційної установки 2300 об/хв і знімаємо перехідні процеси в пневмовітках за допомогою осцилографа (рис. 4). З рис. 4 видно, що при збільшенні завантаження матеріалопроводів на 10 % і при частоті обертання вентиляційної установки 2300 об/хв призводить до завалу 10-ї пневмовітки на 10 с роботи пневмомережі. Завал пневмовітки призводить до збільшення тиску в колекторі на 50 Па, що видно з осцилограми (рис. 5). Для того, щоб не допустити завал, потрібно збільшити швидкість руху аеросуміші в матеріалопроводі, збільшуючи тиск у колекторі, а для цього необхідно підвищити частоту обертання вентиляційної установки. Але з метою енергозаощадження треба визначити значення і час дії приросту частоти обертання вентиляційної установки.



**Рис. 4. Перехідні процеси в пневмовітках при збільшенні завантаження на 10 % і частоті обертання вентиляційної установки 2300 об/хв.**



**Рис. 5. Перехідний процес в колекторі при збільшенні завантаження на 10 % і частоті обертання вентиляційної установки 2300 об/хв**

Тому, в імітаційній моделі пневмоустановки млина на вхід  $n$  блока SubSystem – Вентилятор ВД №4 з блока Ramp, який має відповідне налагодження подаємо керовану частоту обертання і за допомогою осцилографа знімаємо перехідні процеси в пневмовітках (рис 6). Щоб не допустити завал в 10–ї пневмовітці потрібно при зменшенні швидкості руху аеросуміші в ній менше 12 м/с форсувати частоту обертання вентиляційної установки на 55 об/хв протягом часу, який становить 13 с, що видно із осцилограми (див. рис.6).



**Рис. 6. Перехідні процеси в пневмовітках при виведенні із завалу 10–ї пневмовітки збільшенні завантаження пневмережі на 10 %**

### Висновки

1. Для нормального функціонування пневмотранспортної установки млина при номінальному її завантаженні достатньо, щоб частота обертання вентиляційної установки становила 2300 об/хв.
2. При зменшенні швидкості руху повітря в колекторі нижче 12 м/с і номінальному завантаженні матеріалопроводів проходить завал 10–ї пневмовітки, тобто вона найчутливіша до збурень.
3. Збільшення завантаження 10–ї пневмовітки при частоті обертання вентиляційної установки 2300 об/хв призводить до зростання тиску в колекторі і при збільшенні завантаженні пневмовітки на 10 % проходить її завал, а тиск у колекторі стрибкоподібно зростає на 50 Па.
4. Для недопущення завалу 10–ї пневмовітки потрібно підвищити в ній швидкість руху аеросуміші, збільшуючи частоту обертання вентиляційної установки. Так, при досягненні руху аеросуміші в пневмовітці до 11 м/с потрібно збільшити частоту на 55 об/хв на час 13 с, щоб вийти на номінальний режим роботи.

### Список літератури

1. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 / С.Г. Герман-Галкин. –СПб.: КОРОНА принт, 2001. –320с.
2. Гуцин В.М. Высокоэффективный пневматический транспорт сыпучих материалов / В.М. Гуцин // Праці міжнар. наук.–техн. конф. “Прогресивна техніка і

технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва.” –К.: НТТУ “КПІ”, 1998. – Т.3. – С. 268–271.

3. Клендій П. Математична модель процесу пневмотранспортування сипких матеріалів у продуктопроводі / П.Клендій, Г. Клендій, С. Гайдукевич // Вісник Тернопільського держ. техн. ун-ту. – 2008. –№ 1. –С. 119 – 124.

4. Птушкин А.Т. Автоматизация производственных процессов в отрасли хранения и переработки зерна / А.Т. Птушкин. – М.: Колос, 1979. – 335 с.

5. Transport des sacs postaux a laide de tudes pneumatques // Manutention. – 1969. – Vol 19. –№ 161. – P. 117 – 119.

6. Tubexpress developed a new concept in solids transportation // Pipe Line News. – 1972. – Vol. 19. –№ 161 – P. 117 – 119.

7. Wasp E. State of the art in Solids pipe – lining // Pipe–Line. – Eng., 1969.– № 12.

*В среде Simulink пакета прикладных программ MatLAB разработана компьютерная модель пневмотранспортной системы мельницы типа P6-ABM-15. Используя модель, исследована работа пневмосети при разной загрузке пневмоветок и определены энергоэффективные режимы.*

**Компьютерное моделирование, пневмотранспортная система, энергоэффективные режимы.**

*In the environment of Simulink of application of MatLAB package the computer model of the system of mill is made of type as P6-ABM-15. Using a model, work of pnevmatiknetwork is investigated at the different loading of pnevmatikbranch and the energy effective modes are curtained.*

**Computer design, pnevmatik system, energy effective modes.**

УДК 665.33.001.73

## **РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ УСТАНОВКОЮ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

***В.П. Лисенко, кандидат технічних наук  
Д.С. Комарчук, асистент***

*Розроблено систему автоматичного керування режимами роботи установки для теплової обробки дисперсних матеріалів індукційним способом передачі енергії до теплопередаючої поверхні на основі нечітких нейронних мереж.*

***Індуктор, індукційний нагрів, нечітка система, ріпак, нечітка нейронна мережа, система автоматичного керування.***

технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва.” –К.: НТТУ “КПІ”, 1998. – Т.3. – С. 268–271.

3. Клендій П. Математична модель процесу пневмотранспортування сипких матеріалів у продуктопроводі / П.Клендій, Г. Клендій, С. Гайдукевич // Вісник Тернопільського держ. техн. ун-ту. – 2008. –№ 1. –С. 119 – 124.

4. Птушкин А.Т. Автоматизация производственных процессов в отрасли хранения и переработки зерна / А.Т. Птушкин. – М.: Колос, 1979. – 335 с.

5. Transport des sacs postaux a laide de tudes pneumatques // Manutention. – 1969. – Vol 19. –№ 161. – P. 117 – 119.

6. Tubexpress developed a new concept in solids transportation // Pipe Line News. – 1972. – Vol. 19. –№ 161 – P. 117 – 119.

7. Wasp E. State of the art in Solids pipe – lining // Pipe–Line. – Eng., 1969.– № 12.

*В среде Simulink пакета прикладных программ MatLAB разработана компьютерная модель пневмотранспортной системы мельницы типа P6-ABM-15. Используя модель, исследована работа пневмосети при разной загрузке пневмоветок и определены энергоэффективные режимы.*

**Компьютерное моделирование, пневмотранспортная система, энергоэффективные режимы.**

*In the environment of Simulink of application of MatLAB package the computer model of the system of mill is made of type as P6-ABM-15. Using a model, work of pnevmatiknetwork is investigated at the different loading of pnevmatikbranch and the energy effective modes are curtained.*

**Computer design, pnevmatik system, energy effective modes.**

УДК 665.33.001.73

## **РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ УСТАНОВКОЮ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

***В.П. Лисенко, кандидат технічних наук  
Д.С. Комарчук, асистент***

*Розроблено систему автоматичного керування режимами роботи установки для теплової обробки дисперсних матеріалів індукційним способом передачі енергії до теплопередаючої поверхні на основі нечітких нейронних мереж.*

***Індуктор, індукційний нагрів, нечітка система, ріпак, нечітка нейронна мережа, система автоматичного керування.***

---

© В.П. Лисенко, Д.С. Комарчук, 2014

Нині важливим фактором впливу на зростання потенціалу економіки України є підвищення наукоємності технологій, у тому числі електротехнологій з використанням комп'ютерних інтелектуальних систем керування [3].

Для сучасних промислових електротехнологічних систем невисокий рівень питомих енергетичних витрат на одиницю продукції, зручність експлуатації та надійність роботи в значній мірі залежить від якості систем автоматичного керування. Складність розробки таких систем зростає в умовах непрогнозованих змін напруги електромережі живлення і невизначених змін нелінійності об'єкта регулювання, які можуть виникати в силу особливостей нестационарного технологічного процесу.

**Мета досліджень** – створення системи автоматичного керування режимами роботи установки для теплової обробки дисперсних матеріалів з використанням нечіткої логіки та гібридних нейронних мереж.

**Матеріали та методика досліджень.** Зміну напруги електричної мережі живлення в умовах невизначеності електричних режимів сучасного електротехнічного та електронного обладнання складно представити в математичній формі чи спрогнозувати. У той же час автоматичне керування при нестабільності напруги в електротехнологічному навантаженні у більшості сучасних установок є умовою, при якій необхідно забезпечити низькі питомі енергетичні витрати та отримати продукцію високої споживчої якості.

Відхилення напруги живлення в електротехнологічному навантаженні можуть виникати через низку факторів [1,4,5]. Складність задач якісного регулювання і стабілізації напруги електротехнологічних систем полягає в формуванні загальної картини взаємовідношень всіх складових впливу. Прийняття рішення про характер поведінки системи в цілому повинно базуватись на врахуванні як відхилення напруги, характеру нелінійності навантаження, параметрів технологічного процесу, стану виконавчого органу, так і особливостей функціонування регуляторів та стабілізаторів напруги з різними способами керування силовими виконавчими органами.

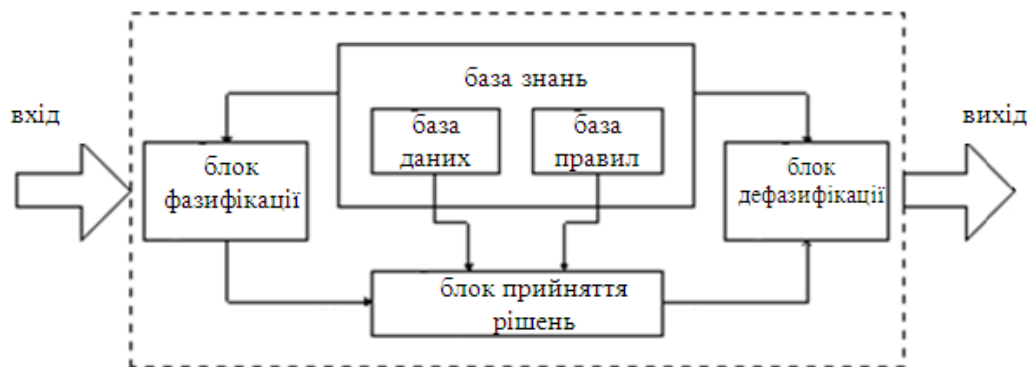
Структура більшості систем регулювання та стабілізації напруги, що нині має місце на виробництві, подібна до традиційних локальних систем з ПІД-законом керування і не може забезпечити оптимальне керування і прийняття рішень щодо керування без математичного опису системи. Відомі системи з прогнозним (упередженим) керуванням та так звані «робастні» системи [2,9], які потребують наявності детермінованого причинно-наслідкового зв'язку між вхідними і вихідними параметрами у вигляді математичних рівнянь, що для більшості промислових електротехнологічних процесів неможливо визначити. А за відсутності достовірного математичного опису поведінки системи регулювання, в умовах непрогнозованої зміни напруги мережі, неможливо встановити оптимальні коефіцієнти налаштування ПІД-регулятора, який повинен працювати на нелінійне навантаження.

Аналіз вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури [6–9] показує, що для підвищення ефективності керування та якості регулювання і стабілізації в широкому діапазоні напруги електротехнологічних систем математичний апарат нечіткої логіки є одним із найдодільніших шляхів, оскільки дозволяє ідентифікувати електротехнологічні системи засо-

бам формалізації природних мовних виразів і логічних висновків із синтезом нечіткого логічного контролера, що має нелінійну передавальну характеристику. Нечітка система керування, окрім здатності спостереження за вхідними параметрами перетворювача та їх аналізом, спроможна встановлювати відношення між параметрами спостереження та виконувати оцінку ступеня взаємозв'язку між ними на основі правил бази знань і приймати рішення щодо керування виконавчим органом на основі відтворення оптимальних відношень. Це забезпечить покращення ефективності та підвищення якості регулювання і стабілізації напруги зі зменшенням часу виходу на заданий режим при зменшенні величини перерегулювання.

Тому створення та дослідження вискоефективних інтелектуальних систем, що забезпечують регулювання і стабілізацію параметрів у широкому діапазоні зміни напруги, на основі методів нечіткої логіки є досить актуальною задачею.

**Результати досліджень.** Для створення нейроінформаційної системи використовуємо алгоритм Сугено [111,122]. На основі алгоритму нечіткого логічного висновку будується система міркувань (рис.1).



**Рис. 1. Нейроінформаційна система**

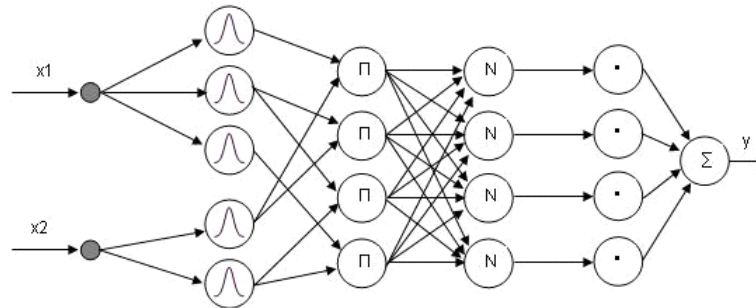
Система нечітких міркувань складається з п'яти функціональних блоків:

- блок фазифікації, що перетворює чисельні вхідні значення в ступені відповідності лінгвістичним змінним;
- база правил, яка містить набір нечітких правил типу якщо-то;
- база даних, в якій визначено функції приналежності нечітких множин, що використовуються в нечітких правилах;
- блок прийняття рішень, здійснює операції виведення на підставі наявних правил;
- блок дефазифікації перетворює результати виводу в чисельні значення.

ANFIS реалізує систему нечіткого виводу Сугено у вигляді п'ятишарової нейронної мережі прямого поширення сигналу (рис.2). Призначення шарів таке:

- перший шар – терми вхідних змінних;
- другий шар – антецеденти (посилки) нечітких правил;
- третій шар – нормалізація ступенів виконання правил;

- четвертий шар – укладення правил;
- п'ятий шар – агрегування результату, отриманого за різними правилами.



**Рис. 2. ANFIS мережа**

База правил являє собою безліч нечітких правил  $R^k, k = 1, \dots, N$  виду [11]:

$$R^k : IF(x_1 \text{ it } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ it } A_2^k \dots \text{ AND } x_n \text{ then } A_n^k) \text{ Then } (y_1 \text{ it } B_1^k \text{ AND } y_2 \text{ it } B_2^k \dots \text{ AND } y_m \text{ it } B_m^k), \quad (1)$$

де  $N$  – кількість нечітких правил;  $A_j^k, B_j^k$  - нечіткі множини.

Об'єднавши математичні описи всіх використаних елементів мережі отримуємо один із способів реалізації ANFIS мережі:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}^k \left( \prod_{i=1}^n e^{-\frac{(x_i - \bar{x}_i^k)^2}{\sigma_i^k}} \right)}{\sum_{i=1}^N \left( \prod_{i=1}^n e^{-\frac{(x_i - \bar{x}_i^k)^2}{\sigma_i^k}} \right)} \quad (2)$$

Створення ANFIS-моделі забезпечення необхідної температури дисперсного матеріалу виконуємо з використанням графічного інтерфейсу гібридних нейронних мереж у пакеті прикладних програм ANFIS Editor (Fuzzy Logic Toolbox) системи MatLAB [10].

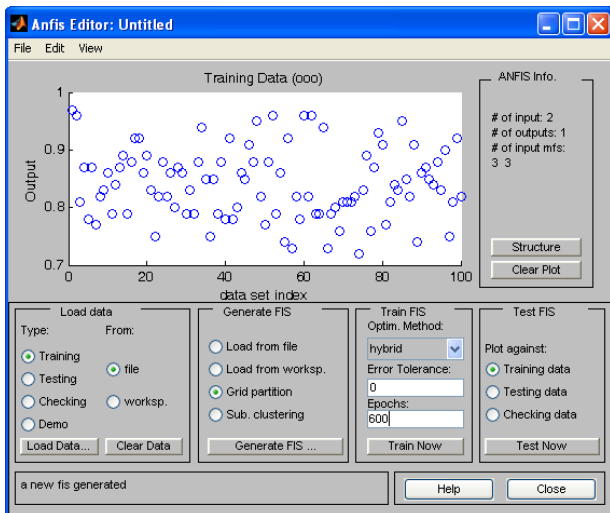
Для моделювання використаємо три блоки даних, отриманих у результаті проведених експериментальних досліджень та математичної моделі – навчальні, контрольні та дані для перевірки.

Розробку системи автоматичного керування напругою установки залежно від початкової температури дисперсного матеріалу та діючої напруги мережі розпочнемо з завантаження даних експерименту в редактор моделі. Використовуємо дані Training data (рис.3).

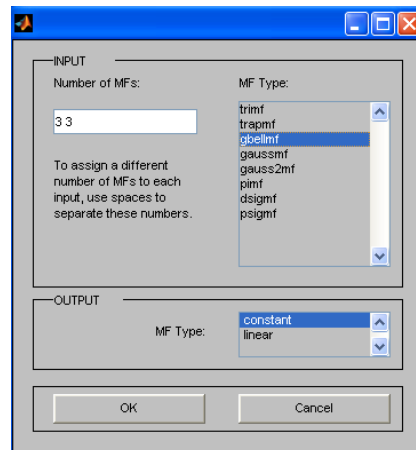
У групі опцій ANFIS активуємо опцію grid partition. Не змінюючи інші налаштування, генеруємо структуру нейронної моделі типу input\_gbellmt та output\_linear (рис. 4). Кількість циклів змінимо на 600.

Структуру розробленої мережі зображено на рис.5.

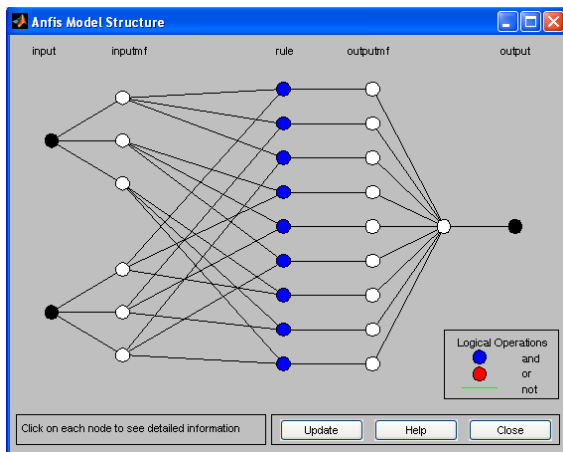
Навчання мережі за експериментальними даними припинилось після 515 циклу (рис.6) з середньоквадратичною похибкою 0,0029026.



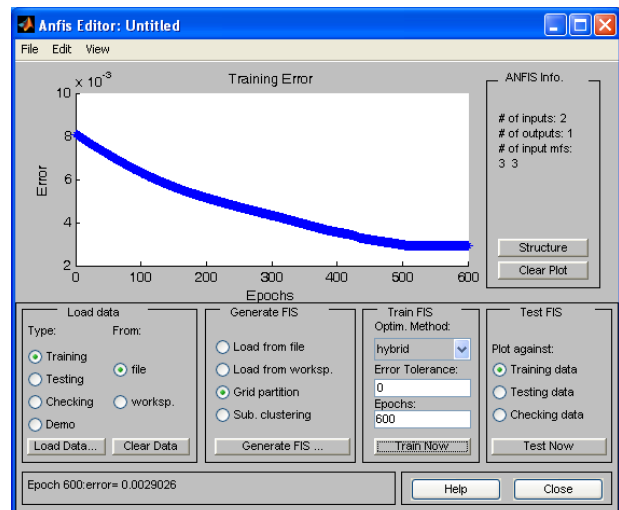
**Рис. 3. Налаштування ANFIS редактора на навчальну вибірку експериментальних даних**



**Рис. 4. Вікно визначення функцій належності**



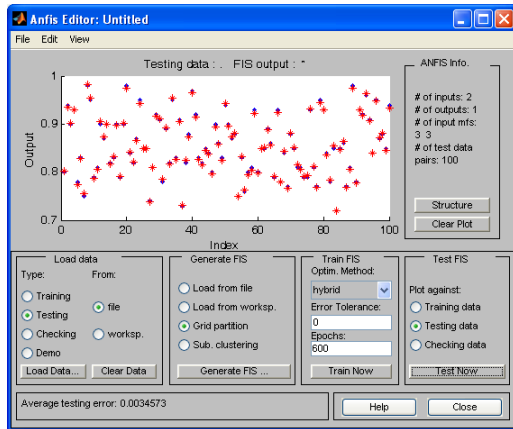
**Рис. 5. Структура розробленої гібридної мережі**



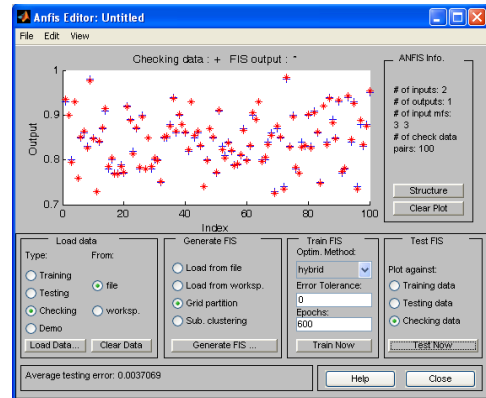
**Рис. 6. Результати навчання мережі**

Наступним кроком розробки є введення в редактор контрольної вибірки – Testing data (рис.7). За результатами отримали середньоквадратичне відхилення 0,0034573. Таке відхилення у визначенні коефіцієнта  $m$  цілком нас влаштовує. Якість роботи гібридної нейронної мережі оцінимо, завантаживши в ANFIS контрольну вибірку даних – Cheking data. Середньоквадратичне відхилення становила 0,0037069 (рис.8), отже ANFIS навчання мережі завершено.

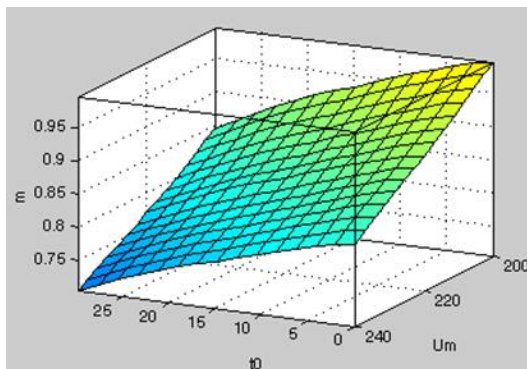
Аналізуючи отриману гібридну мережу, можемо зробити висновки про її адекватність. Поверхня відгуку мережі зображена на рис.9 при коливаннях  $t_0$  в межах від 0 до 30°C та діючої напруги мережі  $U_m$  від 200 до 240 В. Візуалізацію взаємодії всіх параметрів показано на рис.10. Навчена ANFIS забезпечує необхідну точність визначення коефіцієнта напруги та може використовуватись для керування електротехнічним комплексом температурної обробки дисперсних матеріалів.



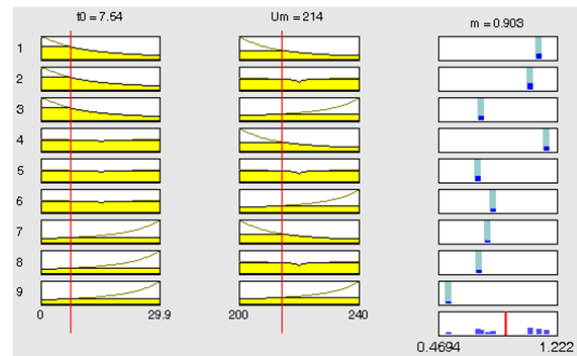
**Рис. 7. Самоналаштування ANFIS на контрольну вибірку експериментальних даних**



**Рис. 8. Результати самоналаштування ANFIS на перевіряльні дані**



**Рис. 9. Графічна залежність коефіцієнта напруги  $m$  від початкової температури  $t_0$ , °C та діючої напруги мережі  $U_m$ , В**



**Рис. 10. Вікно правил FIS редактора середовища MatLAB**

## Висновки

Дослідження створеної за допомогою нечітких нейронних мереж автоматичної системи керування, в якій коефіцієнт напруги залежить від початкової температури дисперсного матеріалу та діючої напруги мережі, підтвердили її адекватність для керування режимами роботи установки. При цьому середньоквадратичне відхилення налаштування системи становило 0.0034573 при обробці Testing data та 0.0037069 при обробці Cheking data.

## Список літератури

1. Волков І.В. Спеціалізовані стабілізатори напруги живлення засобів обчислювальної техніки / І.В. Волков, К.О. Липківський, В.А. Халіков // Технічна електродинаміка. – 1996. – №5. – С. 72 – 73.
2. Жуйков В.Я. Системи упереджувального управління вентилями преобразователями / Жуйков В.Я., Павлов В.Б., Стжелецьки Р.Г. – К.: Наук. думка, 1991. – 240с.

3. Кирик В. В. Комп'ютерно-інтегровані технології керування на основі нечіткої логіки: монографія / В.В. Кирик, В.К. Присяжнюк. – К.: Академія муніципального керування, 2008. – 198 с.
4. Липківський К.О. Проблема регулювання напруги змінного струму та ефективного вирішення її основних аспектів за допомогою локальних технічних засобів / К.О. Липківський // Технічна електродинаміка. – 1997. – №1. – С. 35 – 39.
5. Миловзоров В.П. Дискретные стабилизаторы и формирователи напряжения / В. П. Миловзоров, А. К. Мусолин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.
6. Особенности питания «энергоэффективных потребителей» // К. А. Липковський, В.В. Кирик, А.Ф. Жаркин, А.В. Самков // Технічна електродинаміка. Тем. вип. «Моделювання електронних, енергетичних та технологічних систем». – 1999. – Ч.1. – С. 94–96.
7. Сокол Є.І. Мікропроцесорне керування напівпровідниковими перетворювачами електричної енергії за обчислювальними прогнозами: Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.09.12 / І.Є. Сокол. – К., 1994. – 40 с.
8. Тимченко Ю.Б. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів. Основи САПР та системного проектування складних об'єктів: підручник / За ред. В.І. Бикова. – К.: Либідь, 2003. – 272 с.
9. Шидловский А. К. Тиристорные преобразователи постоянного напряжения для низковольтного электротрансформатора / А.К. Шидловский. – К.: Наук. думка, 1982. – 188 с.
10. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2007. – 288 с.
11. Jang J.-S. R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System // IEEE Trans. Systems & Cybernetics. – 1993. – Vol. 23. – P. 665 – 685.
12. Nauck D., Klawonn F., Kruse R. Foundations of Neuro-Fuzzy Systems. John Wiley & Sons. – 1997. – 305p.

*Разработана система автоматического управления режимами работы установки для тепловой обработки дисперсных материалов индукционным способом передачи энергии к теплопередающей поверхности на основе нечетких нейронных сетей.*

***Индуктор, индукционный нагрев, нечеткая система, рапс, нечеткая нейронная сеть, система автоматического управления.***

*The system of automatic control for the induction heating of dispersion materials with use fuzzy neural networks is developed.*

***Coil, induction heating, fuzzy systems, rape, fuzzy neural network, automatic control system.***

## АЛГОРИТМ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ МІКРОКЛІМАТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

*М.О. Русиняк, кандидат технічних наук  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»*

*Запропоновано використання алгоритму розпізнавання температурних образів і його реалізація за допомогою штучної нейронної мережі для використання в автоматизованих системах оптимізації параметрів мікроклімату агропромислового підприємства.*

*Алгоритм, автоматизація, штучні нейронні мережі, клімат, розпізнавання образів.*

Основним параметром клімату, що найбільше впливає на біотехнічний об'єкт є температура повітря [1]. Дослідженнями встановлено, що річні реалізації температури зовнішнього середовища є реалізаціями нестационарних випадкових процесів з характеристиками, які відрізняються з року в рік. Аналіз зміни окремих ділянок річних реалізацій показав, що вони можуть бути прогнозовані, оскільки є реалізаціями або стационарних випадкових процесів, або стационарних процесів з адитивними детермінованими складовими, тобто квазістационарних процесів. Кожну з річних реалізацій можна подати у вигляді 60–90 таких стационарних або квазістационарних ділянок. Аналіз всіх можливих ділянок показує, що будь-яка з них може належати до одного з п'яти класів – так званих фреймів. Набір фреймів сформує певну множину станів – температурних образів у термінології штучних нейронних мереж.

Основною функцією автоматизованих систем є адекватна реакція на збурення. Визначений температурний образ визначає певну стратегію функціонування автоматизованої системи управління мікрокліматом.

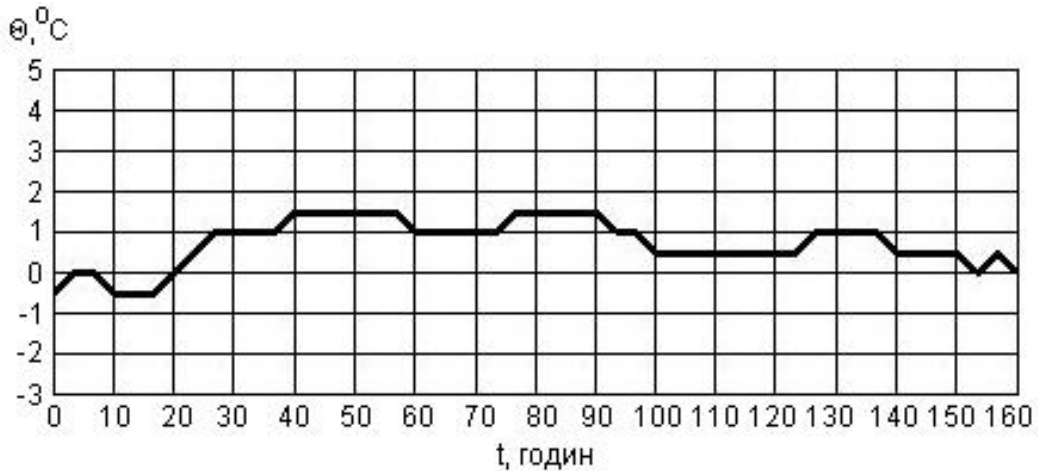
**Мета досліджень** – вирішення задачі розпізнавання образів мікроклімату за допомогою штучної нейронної мережі (ШНМ).

**Матеріали та методика досліджень.** Величини температури зовнішнього середовища впродовж певного періоду часу (в дослідженнях вибрано 4 доби – 96 год) формують певний температурний образ, що визначає стратегію автоматизованої системи керування. Образ формується 32 значеннями температури (інтервал – 3 год). Температурні образи можна характеризувати амплітудою періодичних коливань впродовж доби і коефіцієнтом зміни середньодобового значення (рис. 1-4).

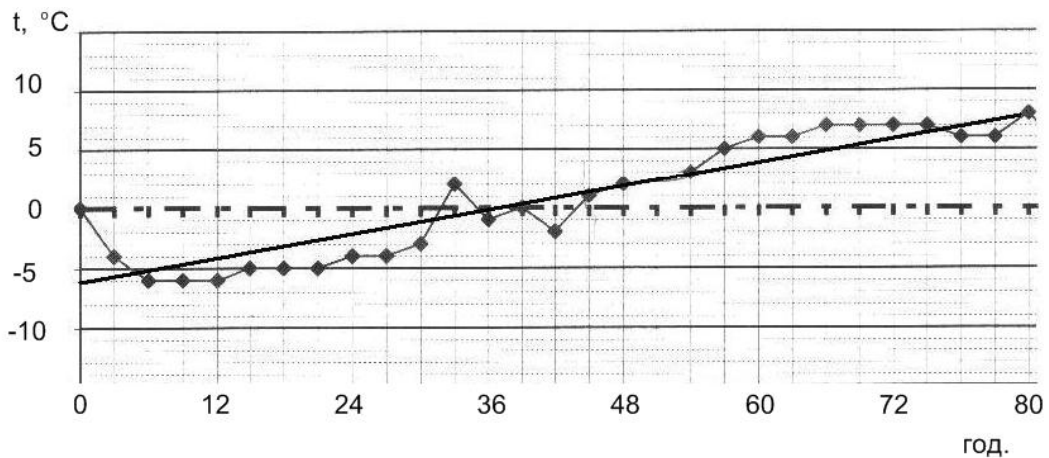
Період добових коливань температури зовнішнього середовища  $T$  становить 24 год. Залежність температури  $\Theta$  від часу  $t$  можна описати виразом:

$$\Theta = \Theta_0 + k \cdot t + a \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0), \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт зміни середньодобового значення;  $a$  – амплітуда періодичних коливань добової температури;  $\omega$  – кругова частота коливань ( $\omega = 2\pi \cdot T$ );  $\Theta_0$  – початкове значення середньодобової температури;  $\varphi_0$  – початкова фаза добових коливань температури;



**Рис. 1. Температурний образ з невеликою зміною середньодобової температури та невеликою амплітудою добової температури (образ 1)**

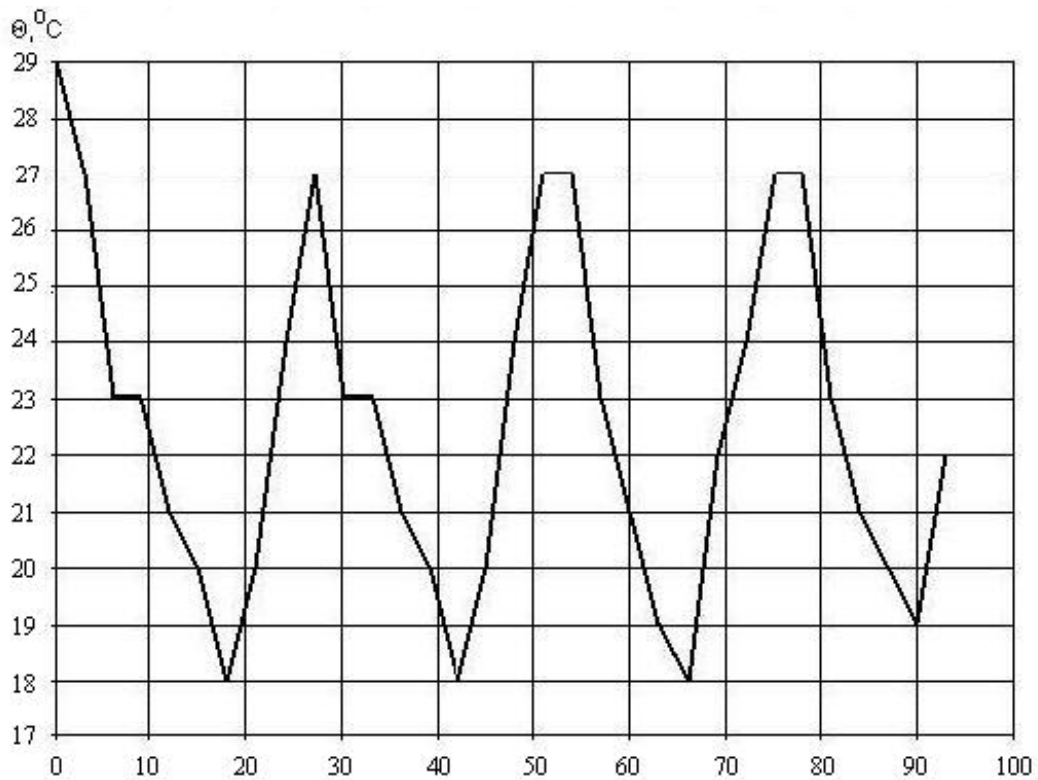


**Рис. 2. Температурний образ з великою зміною середньодобової температури та невеликою амплітудою добової температури (образ 2)**

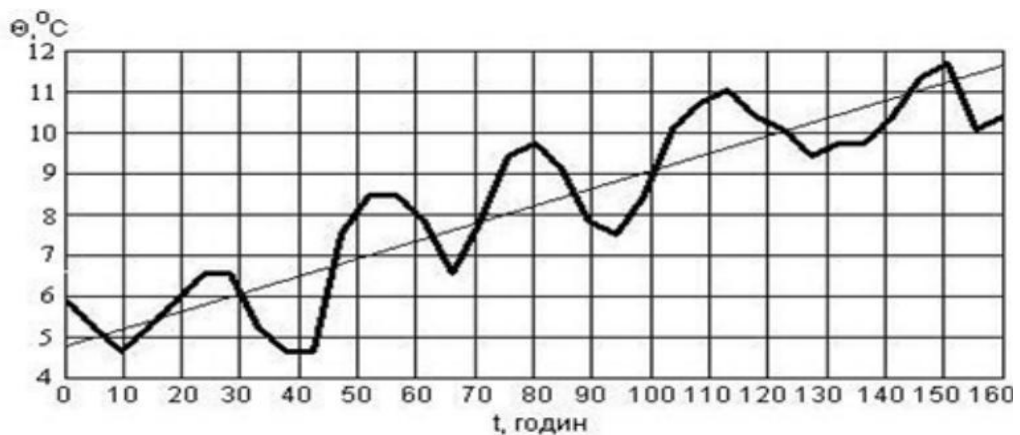
Значення амплітуди коливань  $a$  та коефіцієнта  $k$  виразу (1), визначає конкретний фрейм (температурний образ), до якого належить залежність температури від часу впродовж 96 год. Графічна залежність температурного образу від значень коефіцієнтів  $a$  та  $k$  виразу (1) відображена на рис. 5:

**Результати досліджень.** Визначення температурного образу штучною нейронною мережею здійснюється за алгоритмом, наведеним на рис. 6.

Амплітуди коливань  $a_1 \dots a_4$  визначаються як різниця між максимальним та мінімальним значенням температури за кожен день.



**Рис. 3. Температурний образ з невеликою зміною середньодобової температури та великою амплітудою добової температури (образ 3)**



**Рис. 4. Температурний образ з великою зміною середньодобової температури та великою амплітудою добової температури (образ 4)**

Середні значення добових температур  $s_1 \dots s_4$  визначаються як середнє арифметичне значення температур впродовж доби.

Амплітуда коливань  $a$  для образу визначається як середньоарифметичне  $a_1 \dots a_4$ .

Коефіцієнт зміни середньодобового значення  $k$  визначається як різниця між максимальним та мінімальним значенням  $s_1 \dots s_4$ ;

За величинами  $a$  та  $k$  визначається клас температурного образу.

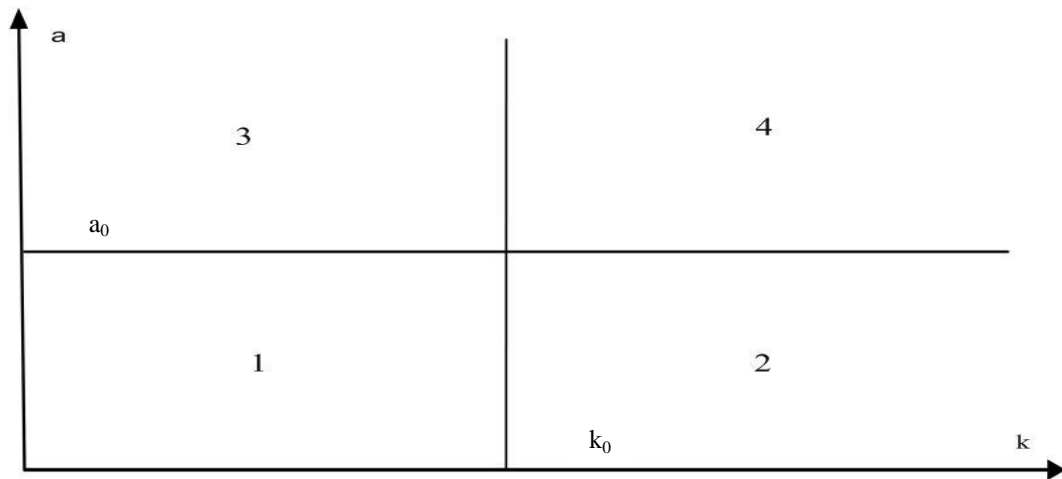


Рис. 5. Класифікація температурних образів

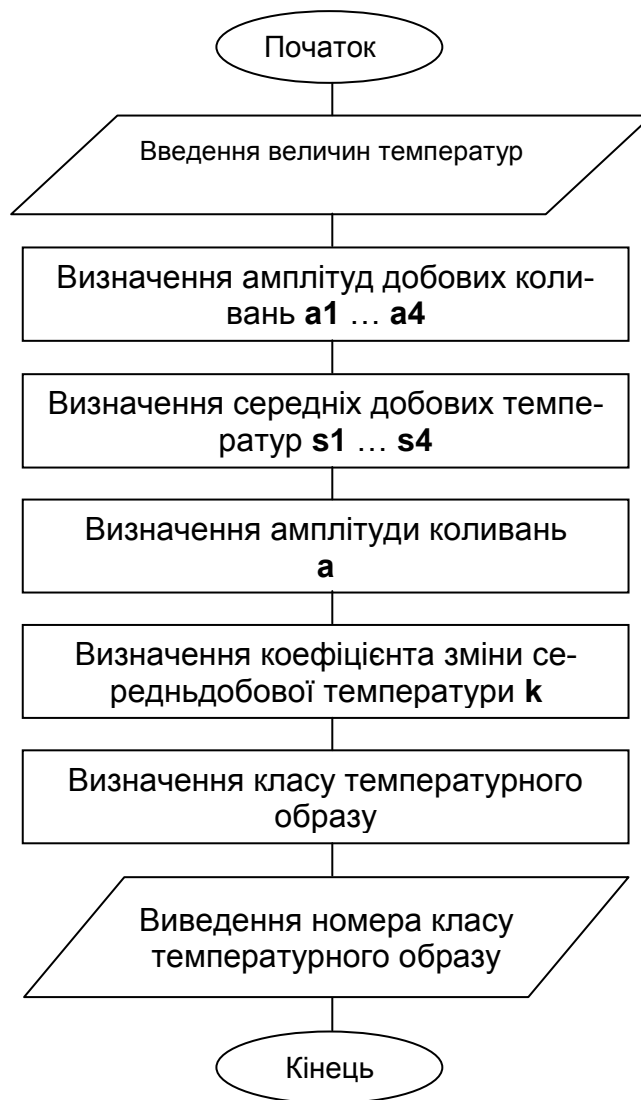
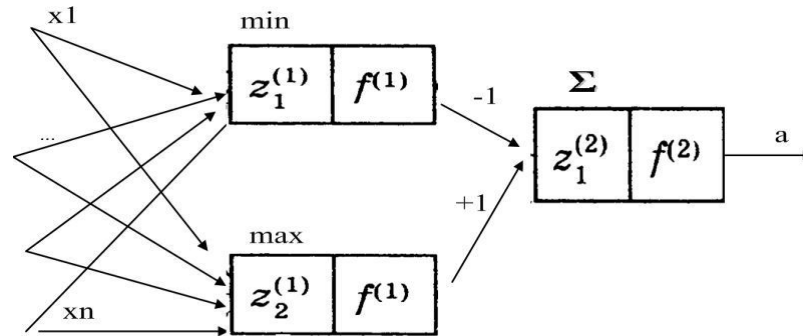


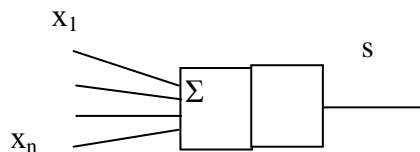
Рис. 6. Алгоритм розпізнавання температурного образу з використанням штучної нейронної мережі

Визначення амплітуд реалізовано мережею з трьох лінійних нейронів (рис. 7). У першому шарі використано два нейрони з вхідними функціями мінімуму та максимуму. Ваги цих нейронів необхідно взяти постійними зі значенням  $1/n$ , де  $n$  – кількість входів нейрона ( для визначення добової амплітуди  $n=8$ ). У другому шарі використано лінійний нейрон з постійним значенням ваг:  $+1$  до нейрона з вхідною функцією максимуму та  $-1$  до нейрона з вхідною функцією мінімуму.



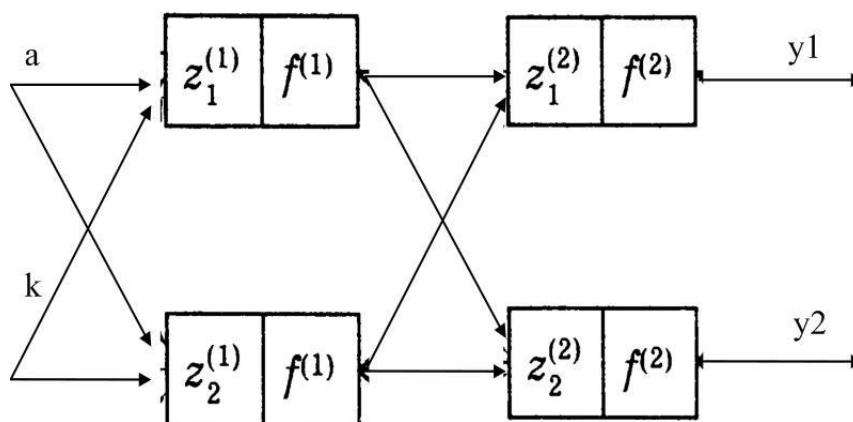
**Рис. 7. Мережа визначення амплітуди**

Визначення середнього значення здійснюється лінійним нейроном з вхідною функцією сумування (рис. 8). Ваги входів становлять  $1/n$ , де  $n$  – кількість входів.



**Рис. 8. Нейрон визначення середнього значення**

Для визначення класу образу використовувалася двохшарова мережа нейронів із вхідною функцією сумування  $z$  та сигмоїдною активаційною функцією  $f$  (рис.9).



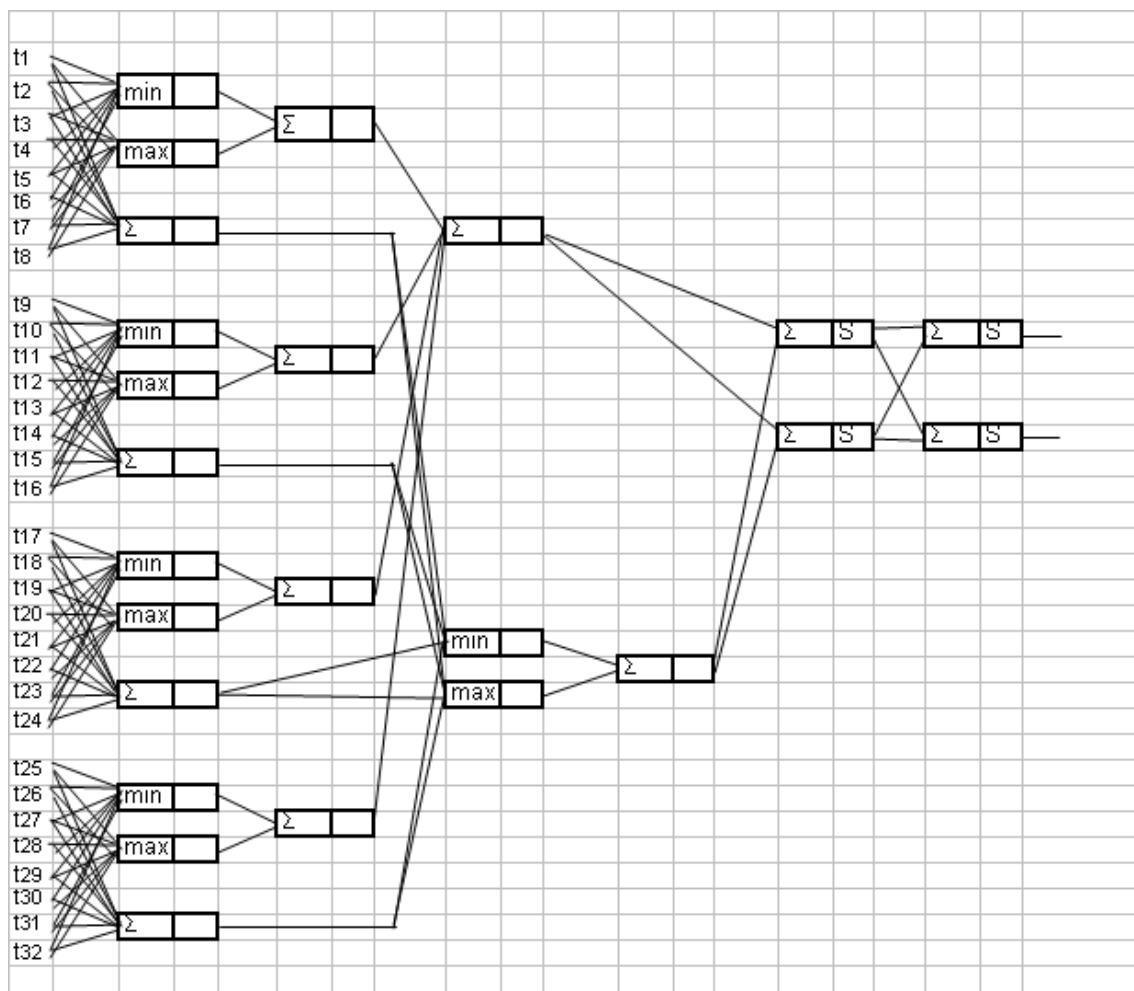
**Рис. 9. Мережа визначення класу образу**

Така мережа потребує попереднього навчання. Навчання мережі здійснювалося з учителем методом зворотного поширення помилки. Для навчання використовувалась вибірка з 120-ти температурних образів. Похибка навчання становила 3 %.

Загальна структура штучної нейронної мережі показана на рис.10.

При тестовому використанні мережі з 500 температурних образів похибка становила 5 %. Образи, неправильно визначені мережею, мали значення  $a$  та  $k$  близькі до  $a_0$  та  $k_0$ , тобто в цьому випадку дійсний та помилково визначений образи в реальності не сильно відрізнялися.

ШНМ реалізована мовою програмування C#.



**Рис. 10. Загальна структура штучної нейронної мережі**

### **Висновки**

1. Запропоновано алгоритм розпізнавання температурних образів та його реалізація штучною нейронною мережею.
2. Запропонована ШНМ легко навчається та дозволяє адаптуватись до нових умов, здійснивши перенавчання мережі.
3. Алгоритм розпізнавання температурних образів та його реалізація як ШНМ рекомендуються для використання в реальних автоматизованих системах управління агропромислового виробництва.

### Список літератури

1. Лисенко В. П. Розробка алгоритму визначення оптимальних параметрів мікроклімату в промисловому пташнику / В.П. Лисенко, М.О. Русиняк // Аграрна наука і освіта. – 2003 – Т. 4, №3-4. – С. 92–97.
2. Руденко О.Г. Штучні нейронні мережі: Навч. посіб. / О.Г. Руденко, Є.В. Бодянський. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404 с.
3. Уоссермен Ф. Нейрокомп'ютерна техніка: Теорія і практика / Ф.Уоссермен. – М.: Мир, 1992. – 184 с.

*Предложено использование алгоритма распознавания температурных образов и его реализация с помощью искусственной нейронной сети для использования в автоматизированных системах оптимизации параметров микроклимата агропромышленного предприятия.*

**Алгоритм, автоматизация, искусственные нейронные сети, климат, распознавание образов.**

*The research work suggests using the algorithm for the recognition of microclimate patterns and its realization with the help of artificial neural networks for the implementation in the automated systems of the optimization of the microclimate parameters at agro-industrial enterprises.*

**Algorithm, automatization, artificial neural networks, climate, recognition of patterns.**

УДК 634.0.863

### ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РОТОРНО – ПУЛЬСАЦІЙНОГО АПАРАТА ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ РІДКОГО КОРМУ

**В.Г. Горобець, доктор технічних наук  
Д.В. Гескін, аспірант\***

*Вдосконалено технологію приготування рідкого корму із зерна, яка шляхом поєднання в роторно–пульсаційному апараті процесів подрібнення, змішування й нагрівання суміші дозволяє підвищити поживність і перетравність корму, знизити енергозатрати на його приготування. Проведено аналіз гранулометричного складу рідкого корму.*

**Подрібнення, роторно – пульсаційний апарат, корм .**

Нині процесу приготування кормових сумішей надається велике значення, оскільки корми необхідного ступеня подрібнення дозволяють різко підвищити їх засвоюваність, зменшити їх витрату при вирощуванні та відгодівлі тварин.

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук В.Г. Горобець.

### Список літератури

1. Лисенко В. П. Розробка алгоритму визначення оптимальних параметрів мікроклімату в промисловому пташнику / В.П. Лисенко, М.О. Русиняк // Аграрна наука і освіта. – 2003 – Т. 4, №3-4. – С. 92–97.
2. Руденко О.Г. Штучні нейронні мережі: Навч. посіб. / О.Г. Руденко, Є.В. Бодянський. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404 с.
3. Уоссермен Ф. Нейрокомп'ютерна техніка: Теорія і практика / Ф.Уоссермен. – М.: Мир, 1992. – 184 с.

*Предложено использование алгоритма распознавания температурных образов и его реализация с помощью искусственной нейронной сети для использования в автоматизированных системах оптимизации параметров микроклимата агропромышленного предприятия.*

**Алгоритм, автоматизация, искусственные нейронные сети, климат, распознавание образов.**

*The research work suggests using the algorithm for the recognition of microclimate patterns and its realization with the help of artificial neural networks for the implementation in the automated systems of the optimization of the microclimate parameters at agro-industrial enterprises.*

**Algorithm, automatization, artificial neural networks, climate, recognition of patterns.**

УДК 634.0.863

### ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РОТОРНО – ПУЛЬСАЦІЙНОГО АПАРАТА ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ РІДКОГО КОРМУ

**В.Г. Горобець, доктор технічних наук  
Д.В. Гескін, аспірант\***

*Вдосконалено технологію приготування рідкого корму із зерна, яка шляхом поєднання в роторно–пульсаційному апараті процесів подрібнення, змішування й нагрівання суміші дозволяє підвищити поживність і перетравність корму, знизити енергозатрати на його приготування. Проведено аналіз гранулометричного складу рідкого корму.*

**Подрібнення, роторно – пульсаційний апарат, корм .**

Нині процесу приготування кормових сумішей надається велике значення, оскільки корми необхідного ступеня подрібнення дозволяють різко підвищити їх засвоюваність, зменшити їх витрату при вирощуванні та відгодівлі тварин.

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук В.Г. Горобець.

На показники вирощування тварин впливає не тільки вибір компонентів кормів, але і їх підготовка до згодовування. Чим тонше помел, тим більше площа їх загальної поверхні і тим краще їх взаємодія з травними ферментами. Але у тонкого подрібнення є і негативні сторони: збільшуються витрати електроенергії на переробку, занадто тонке подрібнення призводить до втрат корму. Багато технічних засобів для приготування рідких кормів в основному виробили свій ресурс, а енергоємність цих машин не задовольняє сучасним вимогам. Тому питання приготування рідких кормів зараз дуже актуально. Виникла потреба в підвищенні інтенсивності, поліпшенні якісних показників кормоприготувальних машин, розробці нового продуктивного та високотехнологічного обладнання.

Одним із перспективних шляхів підвищення ефективності виробництва рідких кормів є використання обладнання безперервної дії – високотехнологічних машин для приготування кормів.

На підставі вищевикладеного проводяться дослідження, спрямовані на підвищення ефективності процесу приготування рідких кормів.

**Мета досліджень** – підвищення ефективності процесу приготування і якості рідких кормових сумішей у роторно–пульсаційних апаратах при застосуванні принципів дискретно–імпульсного вводу енергії, аналіз гранулометричного складу рідкого корму.

**Матеріали та методика досліджень.** Проведено аналіз стану проблеми отримання кормових сумішей та аналіз застосовуваних кормів і способів подрібнення зернового матеріалу. У результаті встановлено:

1) ефективність кормів залежить від їх фізичної форми. Значно впливає на їх якість процентний вміст вологи, а також гранулометричний склад. Для кожного виду кормів існує своя технологія підготовки і приготування;

2) складність технологічного процесу приготування кормів і його якість безпосередньо залежать від використовуваного обладнання (дробарки, подрібнювачі, змішувачі, дозатори);

3) найважливішою операцією кормоприготувального процесу є подрібнення;

4) існуючі пристрої для приготування рідких кормів схожі за конструктивним виконанням та принципом дії і мають суттєві недоліки:

- низьку продуктивність агрегатів;
- тривалий цикл приготування корму ;
- високу металоємність конструкцій;
- наявність додаткових нагрівальних елементів.

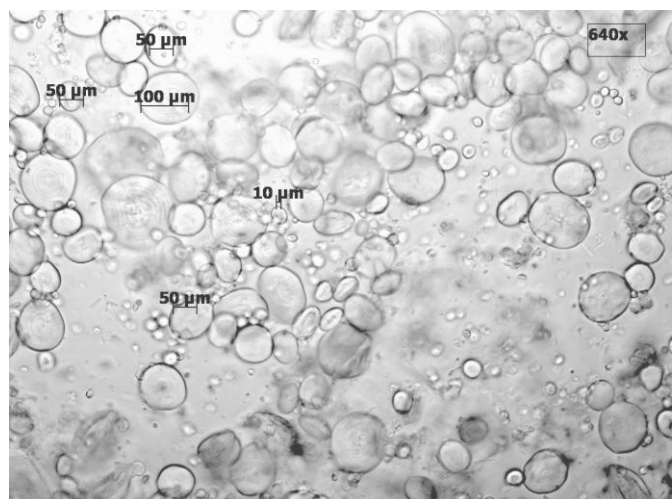
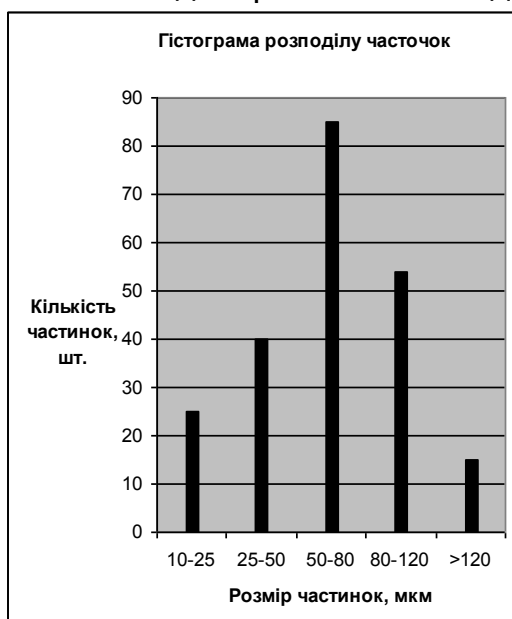
Нині практично відсутнє виробництво малогабаритних установок для приготування рідких кормів, які мають низьку енергоємність і придатність до використання в особистих підсобних і фермерських господарствах.

Тому, постає необхідність створення нових видів подрібнювачів, більш простих у виготовленні, які переважають наявні за якісними та економічними показниками, з принципово іншим технологічним процесом і способом механічного впливу на продукт, що подрібнюється.

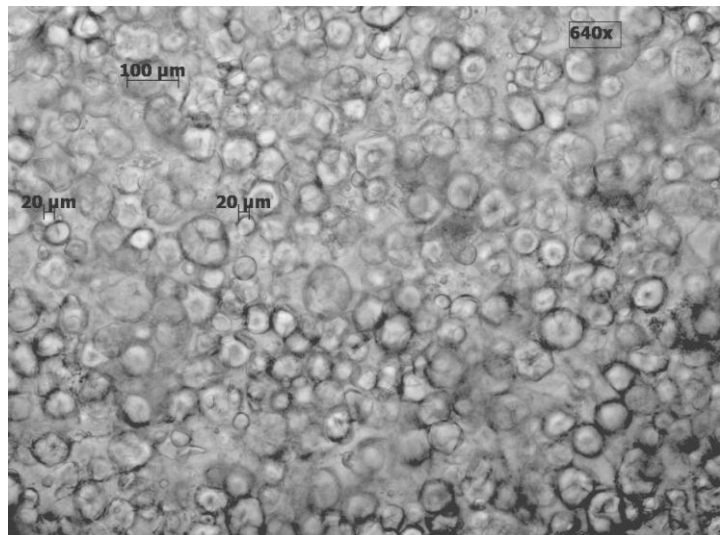
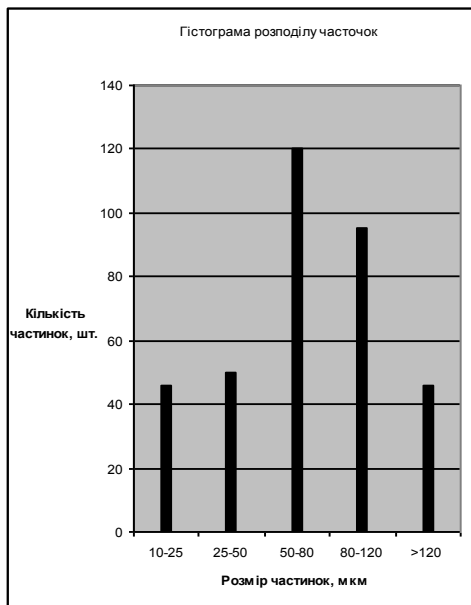
Ринкова ситуація сприяє розвитку конструкцій і технологічних схем компримувальних машин, що можуть одночасно подрібнювати, змішувати, запарювати корм за більш короткий час при низьких енергозатратах, тобто поєднують всі необхідні операції. Роторно–пульсаційні апарати мають високі показники при подрібненні сипучих матеріалів. Вони, а також група установок для приготування рідких кормів, що використовують технологію дискретно–імпульсного вводу енергії при обробці сумішей, являють собою новий тип подрібнюючого обладнання. Однак процес подрібнення зерна при приготуванні в них рідкого корму досліджений недостатньо.

**Результати досліджень.** Для детальнішого вивчення процесу приготування кормів було проведено дослідження процесу подрібнення зернових культур і приготування рідкого корму на роторно–пульсаційному апараті типу ТФГ. Експеримент проводився в режимі рециркуляції (тобто досліджувані компоненти неодноразово проходили через робочі органи РПА). В дослідіах почергово використовувалися різні зернові культури, а саме – жито, кукурудза та овес, які попередньо змішувалися з водою в пропорції 1:1 об'ємних одиниць. Швидкість зсуву потоку в усіх дослідіах була однаковою и дорівнювала  $3 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ . Час обробки становив 6 хв для овесу та 8 хв для жита й кукурудзи. Під час експерименту температура кормової суміші збільшувалась і в кінці становила 50 – 60 °С. В ході проведення випробувань було взято зразки отриманої суміші з метою визначення гранулометричного складу. Аналіз проводився на лабораторній установці, до складу якої входить мікроскоп “Axio Zeiss Imager Z1” та комп'ютер з необхідним для обробки інформації інтерфейсом та програмним забезпеченням “Axio Vision”.

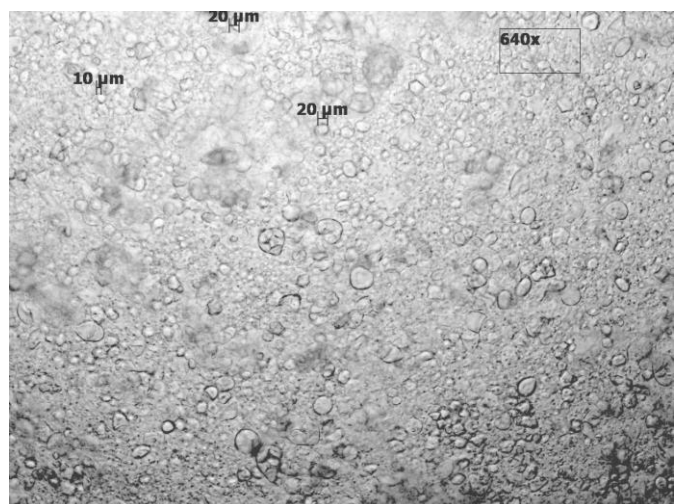
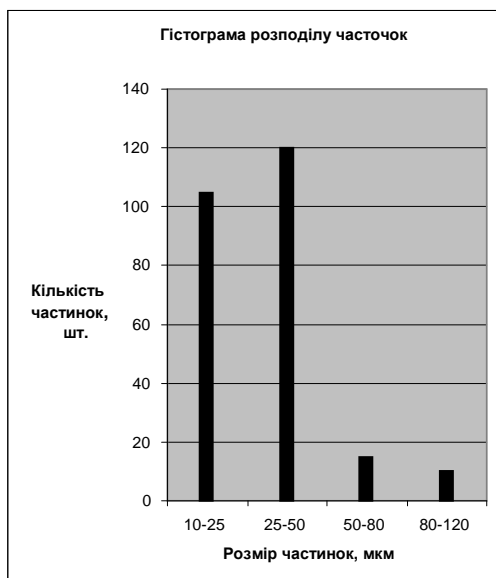
Дані обробки результатів розподілу часток кормової суміші за характерними геометричними розмірами та вигляд зразків рідкого корму збільшених під мікроскопом наведено на рисунку.



а



б



в

**Гістограми розподілу часточок рідкого корму (гранулометричний склад) та вигляд зразка рідкого корму, збільшеного на електронному мікроскопі, одержаного за допомогою РПА:**

а – жито; б – кукурудза, в – овес

Отже, застосування роторно-пульсаційної установки для приготування рідких кормів дає змогу досягти достатнього рівня подрібнення його складових, що дозволяє збільшити рівень засвоюваності корму тваринами.

### Висновки

1. На засвоюваність корму тваринами суттєво впливає його гранулометричний склад. У свою чергу машини, які застосовують для одержання кормових сумішей, не можуть повністю забезпечити необхідний розмір часток і мають ряд суттєвих недоліків – низьку продуктивність, три-

вальної циклічності приготування, високу металоемність конструкцій, наявність додаткових нагрівальних елементів. Все це робить процес приготування досить складним і трудомістким.

2. Застосування технології дискретно-імпульсного вводу енергії, що можливе при використанні роторно-пульсаційного апарата, при приготуванні рідких кормів дає змогу досягти достатнього рівня подрібнення та гомогенізації. Це в свою чергу призводить до покращення рівня засвоюваності корму тваринами і, як наслідок, зменшення собівартості вирощування 1 кг живої маси тварин, а також зниження питомої енергоємності процесу приготування рідких кормових сумішей, оскільки ця технологія включає в себе декілька етапів кормоприготування в одному апараті (подрібнення, змішування, знезаражування, підігрівання, пастеризація)

### Список літератури

1. Долинский А.А. Использование принципа дискретно-импульсного ввода энергии для создания эффективных энергосберегающих технологий / А.А. Долинский / ИФЖ. – 1996. – Т. 69, №6. – С.45–50.

2. Исследование процесса измельчения частиц в роторно-пульсационном аппарате/ О.С. Иванов, М.С. Василишин. В.Ю. Егоров А.Г. Карпов // Технологии и оборудование химической, биологической и пищевой промышленности: материалы всероссийской науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Бийск: БТИ АлтГТУ, 2008. – С.33– 36.

3. Нежлукченко Т.І. Технологія виробництва гомогенної кормової суспензії та ефективність її використання в тваринництві/ Т.І. Нежлукченко, Н.Б. Соляник //Вісник аграрної науки УААН. – 2007. – №3. – С.52–53.

4. Промтов М.А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества / М.А. Промтов. – М.:Машиностроение, 2004. – 93 с.

5. Ситников, А.А. Исследование процесса разрушения зернобобовых культур и определение оптимальных параметров гидродинамического центробежного-роторного измельчителя / А.А. Ситников, Ю.Н. Камышов, С.В. Почтер// Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы I всерос. науч.-техн. конф., 23–25 ноября 2011 г.– Рубцовск: Рубцовский индустриальный ин-т, 2011. – С. 497–501.

*Усовершенствована технологія приготування жидкого корма із зерна, котра шляхом об'єднання в роторно - пульсаційному апараті процесів измельчення, змішування і нагрівання суміші дозволяє підвищити поживність і переварюваність корма, знизити енергозатрати на його приготування. Проведено аналіз гранулометричного складу жидкого корма.*

***Измельчение, роторно-пульсационный аппарат, корм.***

*A technology for producing the liquid feed grain, which by combining rotary - pulsating unit processes of crushing, mixing and heating the mixture can improve nutritional value and digestibility and reduce energy costs for its preparation. The analysis of particle size distribution of liquid feed.*

***Grinding, rotary - pulsation apparatus, feed.***

## ВПЛИВ ЧАСТОТИ СТРУМУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСІВ

*О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, кандидати технічних наук  
С.А. Шворов, доктор технічних наук*

*Проведено дослідження впливу частоти струму на кутову швидкість, технологічні та енергетичні характеристики насосів. Встановлено залежності продуктивності, тиску, потужності насосів та питомої витрати електроенергії від частоти струму.*

***Насос, електропривод, частота струму, продуктивність, тиск, потужність насоса, питома витрата електроенергії.***

Відхилення частоти струму від нормованих значень у сільському господарстві викликає порушення нормального ходу технологічних процесів, випуск неякісної продукції, збільшення захворюваності та загибелі рослин і тварин, скорочення строку служби електрообладнання, зростання втрат електроенергії в елементах системи електроспоживання, виникнення аварійних ситуацій, небезпечних для життя людей [1].

Нині набули значного поширення частотно-регульовані електроприводи. При зміні частоти струму змінюється кутова швидкість двигуна, яка, в свою чергу, обумовлює зміну технологічних та енергетичних характеристик робочих машин [2].

**Мета досліджень** – встановлення впливу відхилення частоти струму на технологічні та енергетичні характеристики насосів.

**Матеріали та методика досліджень.** Аналіз зміни кутової швидкості електроприводів насосів та втрат енергії при зміні частоти струму проводився з використанням положень теорії електропривода, які стосуються електромеханічних властивостей асинхронних електродвигунів, приводних характеристик робочих машин і механізмів, енергетики усталених режимів електроприводів та застосуванням математичного моделювання.

При експериментальних дослідженнях частоту струму змінювали за допомогою перетворювача частоти фірми «Mitsubishi» і визначали кутову швидкість, продуктивність, тиск та потужність насоса та розраховували питому витрату електроенергії.

**Результати досліджень.** При зміні частоти струму двигун працює на робочій ділянці механічної характеристики. При цьому можна вважати, що механічна характеристика двигуна на ній лінійна [2], тобто

$$M_{\omega} = \beta_{\omega}(\omega_0 - \omega), \quad (1)$$

де  $M_0$  – момент двигуна, Н·м;  $\beta_0$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с;  $\omega_0$  – синхронна кутова швидкість, с<sup>-1</sup>;  $\omega$  – задана кутова швидкість, с<sup>-1</sup>.

Механічна характеристика насосів описується рівнянням [3,4]:

$$M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^2, \quad (2)$$

де  $M_c$  – момент статичних опорів робочої машини при заданій кутовій швидкості, Н·м;  $M_0$  – початковий момент, Н·м;  $M_{сн}$  – момент статичних опорів при номінальній кутовій швидкості, Н·м;  $\omega$  і  $\omega_n$  – задане і номінальне значення кутової швидкості, с<sup>-1</sup>.

При зміні частоти струму механічна характеристика двигуна на робочій ділянці має вигляд:

$$M_0 = \beta_0 \left( \frac{2\pi f}{p} - \omega \right), \quad (3)$$

де  $f$  – частота струму, Гц;  $p$  – число пар полюсів.

В усталеному режимі роботи

$$\beta_0 \left( \frac{2\pi f}{p} - \omega \right) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right)^2, \quad (4)$$

або

$$\beta_0 \left( \frac{2\pi f}{p} - \omega_n \omega_* \right) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \omega_*^2. \quad (5)$$

Синхронна кутова швидкість при номінальній частоті струму  $f_n$ :

$$\omega_{0n} = \frac{2\pi f_n}{p}. \quad (6)$$

Тоді рівняння (5) запишеться у вигляді:

$$\beta_0 (\omega_{0n} f_* - \omega_n \omega_*) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \omega_*^2, \quad (7)$$

звідки отримаємо

$$f_* = \frac{M_0 + (M_{сн} - M_0) \omega_*^2 + \beta_0 \omega_n \omega_*}{\beta_0 \omega_{0n}}. \quad (8)$$

Якщо знехтувати початковим моментом  $M_0=0$ , то:

$$f_* = \frac{M_{сн} \omega_*^2 + \beta_0 \omega_n \omega_*}{\beta_0 \omega_{0n}}, \quad (9)$$

або

$$f_* = K_3 s_n \omega_*^2 + \frac{\omega_n}{\omega_{0n}} \omega_*, \quad (10)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт завантаження двигуна;  $s_n$  – номінальне ковзання двигуна.

Для двигунів з жорсткою механічною характеристикою номінальне ковзання невелике і  $\omega_H \approx \omega_{0H}$ , тому першим доданком у виразі (10) можна знехтувати. Тоді отримуємо:

$$f_* = \omega_* \quad (11)$$

Тому, для продуктивності  $Q$ , тиску  $p$  та потужності  $P$  насосів при зміні частоти струму справедливі такі співвідношення:

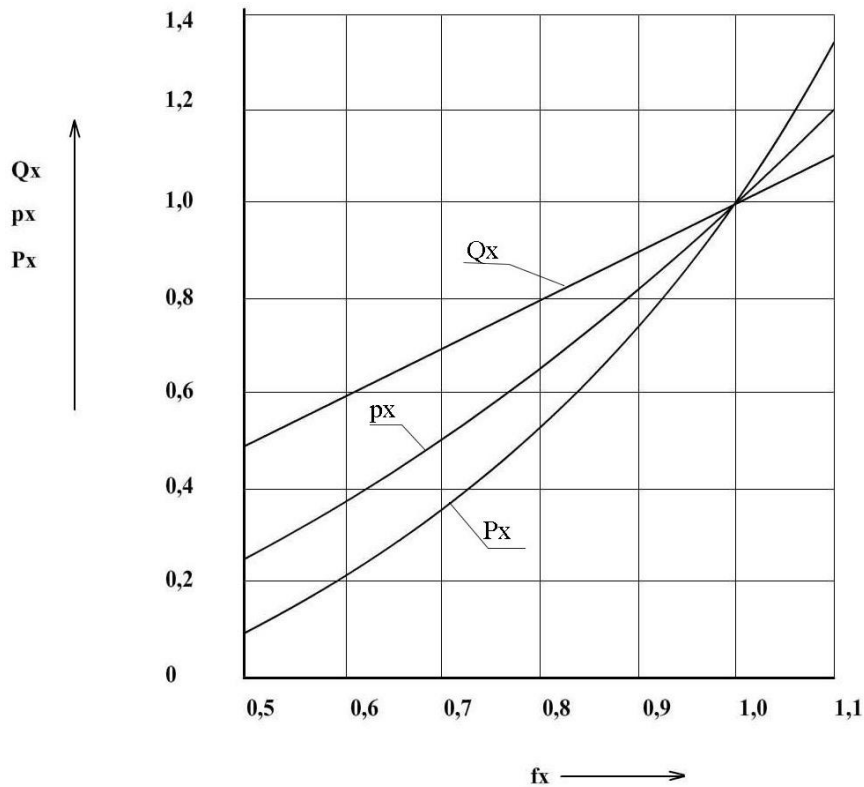
$$Q_* = f_* \quad (12)$$

$$p_* = f_*^2 \quad (13)$$

$$P_* = f_*^3 \quad (14)$$

Експериментальні залежності зміни продуктивності, тиску і потужності відцентрового насоса К8/18 від частоти струму наведено на рис. 1.

Відхилення частоти струму в асинхронних електроприводах викликає зміну постійних і змінних втрат потужності.



**Рис.1. Залежності продуктивності ( $Q$ ), тиску ( $p$ ) і потужності ( $P$ ) насосів від частоти струму у відносних одиницях**

При відхиленні частоти струму механічні втрати потужності визначаються за формулою [2]:

$$\Delta P_M = \Delta P_{M.H} f_*^2 \quad (15)$$

де  $\Delta P_{M.H}$  – механічні втрати при номінальній кутовій швидкості.

Втрати в сталі асинхронного електродвигуна при зміні частоти струму визначаються за формулою [2]:

$$\Delta P_{cm} = \Delta P_{cm1} \approx \Delta P_{cm1n} \left( \frac{U}{U_n} \right)^2 \left( \frac{f_1}{f_{1n}} \right)^{1,3}, \quad (16)$$

де  $\Delta P_{cm1n}$  – втрати в сталі статора при номінальних значеннях частоти і напруги живлення.

Для насосів закон зміни напруги при зміні частоти струму має вигляд:

$$U_* = f_*^2. \quad (17)$$

Тоді втрати в сталі двигуна

$$\Delta P_{cm} \approx \Delta P_{cm1n} f_*^{3,3}. \quad (18)$$

Змінні втрати потужності визначаються за формулою [2]:

$$\Delta P_v = M_c \omega_0 s \left( 1 + \frac{R_1}{R_2'} \right), \quad (19)$$

де  $R_1$  – активний опір обмотки статора, Ом;  $R_2'$  – опір обмотки ротора, зведений до обмотки статора, Ом.

У насосів момент статичних опорів нелінійно залежить від кутової швидкості, тому вираз для визначення втрат потужності при зміні частоти струму є досить складним. Оскільки при зміні частоти струму ковзання практично не змінюється, то перепад швидкості буде:

$$\Delta \omega = \omega_0 s \approx \omega_0 s_{ном}. \quad (20)$$

Тоді змінні втрати потужності при відхиленні частоти струму визначатимуться виразом:

$$\Delta P_v \approx M_c \omega_0 s_n \left( 1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = M_c \frac{2\pi f}{h} s_n \left( 1 + \frac{R_1}{R_2'} \right). \quad (21)$$

Для насосів [3]

$$M_c = M_{cH} \omega_*^2 = M_{cH} f_*^2. \quad (22)$$

Тоді змінні втрати потужності:

$$\Delta P_v \approx \Delta P_{vH} f_*^3. \quad (23)$$

До енергетичних характеристик насоса належить питома витрата електроенергії, кВт·год/м<sup>3</sup>, яка визначається як:

$$q = P_1 / Q, \quad (24)$$

де  $P_1$  – потужність, споживана двигуном з мережі, кВт.

У відносних одиницях вираз (24) має вигляд:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2H} + \Delta P_{cH} + \Delta P_{vH}} \cdot \frac{Q_n}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{vH} (\alpha + \Delta P_v / \Delta P_{vH})}{P_{2H} + \Delta P_{vH} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (25)$$

де  $P_{2H}$  і  $P_2$  – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній і відмінній від номінальної напрузі, Вт;  $\Delta P_{cH}$  і  $\Delta P_c$  – постійні втрати, Вт;  $\Delta P_{vH}$  і  $\Delta P_v$  – змінні втрати, Вт;  $\alpha$  – коефіцієнт втрат.

Розділивши чисельник і знаменник виразу (21) на  $P_{2H}$  та враховуючи те, що

$$P_2 / P_{2н} = M_{сн} \omega_*^2 \omega / M_{сн} \omega_n = \omega_*^3 = f_*^3, \quad (26)$$

$$\Delta P_n = P_{2н} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} = \Delta P_{вн} (\alpha + 1), \quad (27)$$

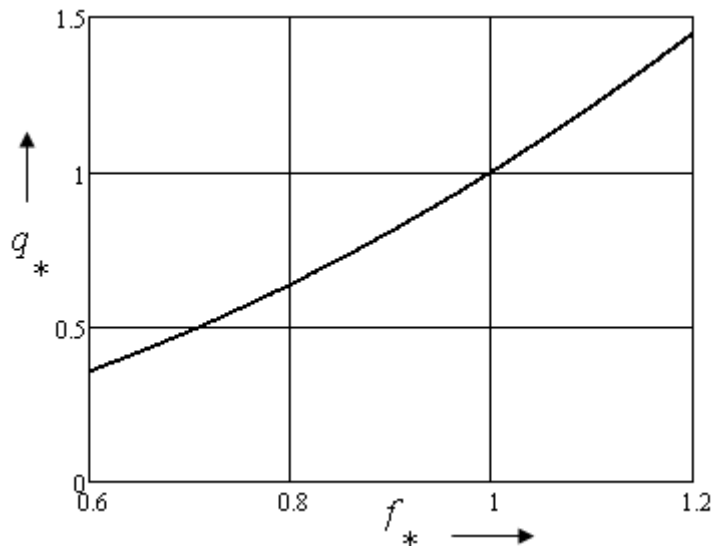
де  $\eta_n$  – ККД двигуна при номінальній напрузі, отримаємо

$$q_* = \frac{f_*^3 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \cdot \frac{(\alpha f_*^{3,3} + f_*^3)}{(\alpha + 1)}}{f_* \left( 1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right)} = f_*^2 \left( \eta_n + \frac{1 - \eta_n}{\alpha + 1} (\alpha f_*^{0,3} + 1) \right). \quad (28)$$

Оскільки  $f_*^{0,3} \approx 1$ , то

$$q_* = f_*^2. \quad (29)$$

Таким чином, зниження частоти струму викликає зменшення питомої витрати електроенергії у насосів, а її підвищення – зростання (рис. 2).



**Рис. 2. Залежність питомої витрати електроенергії від частоти струму для відцентрових насосів**

### Висновки

При зміні частоти струму продуктивність насосів змінюється прямо пропорційно зміні частоти струму, напір – квадрату частоти струму, потужність – кубу частоти струму. При зниженні частоти струму на 2 % продуктивність насосів і вентиляторів змінюється на 2 %, тиск – на 4 %, потужність – на 6 %, а питома витрата електроенергії зменшується на 4 %.

### Список літератури

1. Вплив якості електроенергії на функціонування споживачів у сільському господарстві / Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко, І.І. Мартиненко [та ін.] // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – №1(6). – С. 3–12.
2. Електропривод / [Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І. та ін.]; за ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: Ліра-К, 2009. – 504 с.

3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / [Жулай Є.Л., Зайцев Б.В., Лавріненко Ю.М. та ін.]; за ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.

4. Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві / [Марченко О.С., Дацішин О.В., Лавріненко Ю.М. та ін.]; за ред. О.С. Марченка. – К.: Урожай, 1995. – 416 с.

*Проведено дослідження впливу частоти тока на кутову швидкість, технологічні та енергетичні характеристики насосів. Встановлено залежності продуктивності, тиску, потужності насосів та питомої витрати електроенергії від частоти тока.*

**Насос, електропривод, частота тока, продуктивність, тиск, потужність насоса, питомий расход електроенергії.**

*The effect of frequency on the current angular speed, technological and energy characteristics of pumps are carried out. The dependences of capacity, pressure, pump power and specific energy consumption from the current frequency are established.*

**Pump, electric drive, frequency, capacity, pressure, pump capacity, specific energy consumption.**

УДК 621.43.016.7

## **МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕКСЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ У ВИПУСКНОМУ ТРАКТІ ПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ**

**В. Г. Горобець, доктор технічних наук  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України  
Ю. О. Богдан, аспірант\***

**Київська державна академія водного транспорту  
ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного**

*Розроблено методику для визначення ексергетичних втрат, ексергетичної ефективності та ексергетичних критеріїв випускного тракту двигунів внутрішнього згоряння, яка дозволяє оцінити ефективність проходження відпрацьованих газів газовим трактом з врахуванням всіх видів втрат.*

**Ексергетичний аналіз, ексергетичні втрати, ексергетична ефективність, ексергетичні критерії, випускний тракт, двигун внутрішнього згоряння.**

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук В.Г. Горобець

© В. Г. Горобець, Ю. О. Богдан, 2014

3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / [Жулай Є.Л., Зайцев Б.В., Лавріненко Ю.М. та ін.]; за ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.

4. Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві / [Марченко О.С., Дацішин О.В., Лавріненко Ю.М. та ін.]; за ред. О.С. Марченка. – К.: Урожай, 1995. – 416 с.

*Проведено дослідження впливу частоти тока на кутову швидкість, технологічні та енергетичні характеристики насосів. Встановлено залежності продуктивності, тиску, потужності насосів та удільного витрату електроенергії від частоти тока.*

**Насос, електропривод, частота тока, продуктивність, тиск, потужність насоса, удільний витрат електроенергії.**

*The effect of frequency on the current angular speed, technological and energy characteristics of pumps are carried out. The dependences of capacity, pressure, pump power and specific energy consumption from the current frequency are established.*

**Pump, electric drive, frequency, capacity, pressure, pump capacity, specific energy consumption.**

УДК 621.43.016.7

## **МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕКСЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ У ВИПУСКНОМУ ТРАКТІ ПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ**

**В. Г. Горобець, доктор технічних наук  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України  
Ю. О. Богдан, аспірант\***

**Київська державна академія водного транспорту  
ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного**

*Розроблено методику для визначення ексергетичних втрат, ексергетичної ефективності та ексергетичних критеріїв випускного тракту двигунів внутрішнього згоряння, яка дозволяє оцінити ефективність проходження відпрацьованих газів газовим трактом з врахуванням всіх видів втрат.*

**Ексергетичний аналіз, ексергетичні втрати, ексергетична ефективність, ексергетичні критерії, випускний тракт, двигун внутрішнього згоряння.**

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук В.Г. Горобець

© В. Г. Горобець, Ю. О. Богдан, 2014

Одним із шляхів енергозбереження при проектуванні когенераційних установок середньої і малої потужності є повне і раціональне використання енергії відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Якщо взяти до уваги тепловий баланс двигуна [2, 4], то найбільшими серед теплових втрат є втрати з відпрацьованими газами (ВГ). На їх частку припадає близько 30 % всієї теплоти, що виділяється при згорянні палива. При цьому повна утилізація теплоти ВГ дає змогу значно підвищити ефективність двигуна.

При русі ВГ від циліндра до виходу з випускного колектора або при транспортуванні газів до входу в газову турбіну чи утилізаційний теплообмінний апарат ВГ зазнають втрати енергії, величина яких безпосередньо впливає на ступінь повного використання їх енергії. При цьому є необхідність у визначенні цих втрат. Одним із методів термодинамічного аналізу, який набуває все більшого поширення нині є ексергетичний аналіз. Завдяки такому аналізу можна виконати комплексну оцінку як для одного компонента, так і для сукупності досліджуваних компонентів двигуна з врахуванням усіх видів втрат.

**Мета досліджень** – розробка методики ексергетичного аналізу та визначення втрат енергії ВГ у випускному тракті ДВЗ.

**Матеріали та методика досліджень.** Досліджуваною ділянкою ДВЗ є його випускний тракт, в який входять такі компоненти: газовідвідні канали випускних клапанів (вікна) (компонент *a*) і колектор з патрубками (компонент *b*), які кріпляться до блока чи до кришок циліндрів. Особливості та вимоги до їх конструкції наведено в [1].

Дослідження базується на ексергетичному методі термодинамічного аналізу.

Для проведення оцінки енергетичних втрат на вказаній ділянці необхідно враховувати такі фактори та складові наявних втрат.

1. Робота ДВЗ має циклічний характер, при якому відбуваються неперервні динамічні зміни параметрів потоку на вході у випускний тракт і на виході з нього, що ускладнює здійснення ексергетичного аналізу.

2. Втрати на дроселювання потоку ВГ у випускних клапанах (вікнах).

3. Втрати, пов'язані з розширенням ВГ у випускному колекторі.

4. Втрати, пов'язані з газодинамічним опором випускного колектора.

5. Втрати теплоти у навколишнє середовище через поверхню випускного тракту.

З метою спрощення аналізу приймається, що потік газів у випускному тракті є стаціонарним.

При розрахунках слід враховувати кількість газовипускних клапанів (вікон) у циліндрі. Якщо таких клапанів є декілька, то сума ексергій на вході в компонент, що розглядається, буде дорівнювати сумі ексергій на виході з нього. Також необхідно враховувати кількість циліндрів двигуна та порядок їх роботи, що важливо для визначення витрат ВГ у газовипускному тракті.

В основі ексергетичного аналізу лежить матеріальний та енергетичний баланси. Враховуючи, що у випускному тракті корисна робота ВГ не

виконується ( $\Delta W = 0$ ), відсутні зміни кількості ВГ та немає додаткового підведення маси ВГ, можна записати:

$$m' = m'' = m''' = m = const, \quad (1)$$

де  $m'$  – маса ВГ на виході з циліндра, кг;  $m''$  – маса ВГ на виході з каналу клапана (вікна), кг;  $m'''$  – маса ВГ на виході з колектора, кг.

Для потоку ВГ рівняння першого закону термодинаміки в загальному вигляді запишеться так:

$$\Delta Q = \Delta U + \frac{\Delta g^2}{2} + mg\Delta h + \Delta p\Delta V + \Delta W \quad (2)$$

При цьому зміною зовнішньої потенціальної енергії можна знехтувати  $mg\Delta h = 0$ . Враховуючи, що  $\Delta U + \Delta p\Delta V = \Delta H$ , рівняння (2) приймає вигляд:

$$\Delta Q = \Delta H + \frac{\Delta g^2}{2} \quad (3)$$

Для нашого випадку енергетичний баланс для компонента *a* може бути представлений у вигляді співвідношення:

$$Q_a = (H'_a - H''_a) + \frac{m g_a'^2 - m g_a''^2}{2} - Q_{\text{врати.а}}, \quad (4)$$

де  $Q_a$  – теплота ВГ на виході з циліндра, Дж;  $H'_a$  – ентальпія ВГ на виході з циліндра, Дж;  $H''_a$  – ентальпія ВГ на виході з каналу випускного клапана (вікна), Дж;  $g'_a$  – швидкість ВГ на вході в канал випускного клапана (вікна), м/с;  $g''_a$  – швидкість ВГ на виході з каналу випускного клапана (вікна), м/с;  $Q_{\text{врати.а}}$  – втрати теплоти в навколишнє середовище, Дж.

Енергетичний баланс для компонента *b* може бути записаний у вигляді:

$$Q_b = (H''_b - H'''_b) + \frac{m g_b''^2 - m g_b'''^2}{2} - Q_{\text{врати.б}}, \quad (5)$$

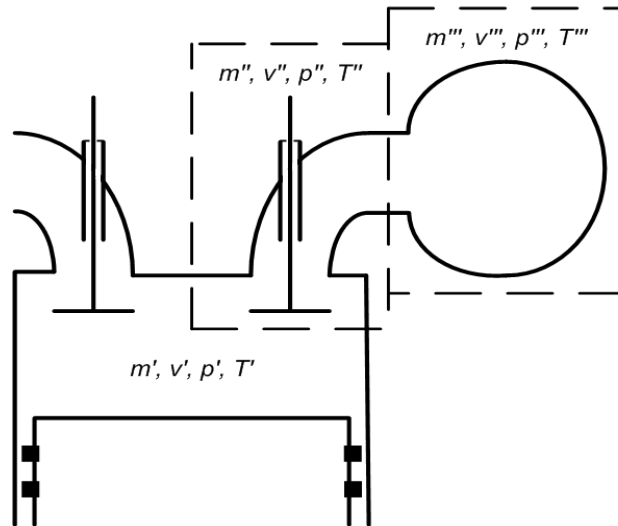
де  $Q_b$  – теплота ВГ на виході з каналу випускного клапана (вікна), Дж;  $H''_b$  – ентальпія ВГ на виході з каналу випускного клапана (вікна), Дж;  $H'''_b$  – ентальпія ВГ на виході з колектора, Дж;  $g_b''$  – швидкість ВГ на виході з каналу випускного клапана (вікна), м/с;  $g_b'''$  – швидкість ВГ на виході з колектора, м/с;  $Q_{\text{врати.б}}$  – втрати теплоти у навколишнє середовище, Дж.

Досліджувані компоненти випускного тракту умовно замикаються контрольною поверхнею (рисунок).

Ексергія потоку речовини (ВГ), яка перетинає нерухому контрольну поверхню, в загальному випадку визначається за методикою, наведеною в джерелі [4]. Для нашого випадку можна записати:

$$E = E_k + E_{ph}, \quad (6)$$

де  $E^k$  – кінетична ексергія, Дж;  $E^{ph}$  – фізична ексергія, Дж.



**Розрахункова схема випускного тракту ДВЗ**

При підрахунку ексергетичного балансу компонентів використовують такі поняття: ексергія палива  $E_F$ , ексергія продукту  $E_P$ , деструкція ексергії  $E_D$  і втрати ексергії  $E_L$  [4, 5]. Таким чином, у загальному вигляді ексергетичний баланс запишемо у формі:  $E_F = E_P + E_D + E_L$ .

З врахуванням виразів (1), (4)–(6) ексергетичний баланс для компонентів випускного тракту набуває вигляду:

- для компонента *a*

$$E'_{k,a} + E'_{ph,a} = E''_{k,a} + E''_{ph,a} + E_{D,a} + E_{L,a}, \quad (7)$$

де  $E'_{k,a} + E'_{ph,a} = E_{F,a}$  – сума кінетичної і фізичної ексергії на вході в компонент *a* (ексергія палива);  $E''_{k,a} + E''_{ph,a} = E_{P,a}$  – сума кінетичної і фізичної ексергії на виході з компонента *a* (ексергія продукту);  $E_{D,a}$  – деструкція ексергії в компоненті *a*;  $E_{L,a}$  – втрати ексергії в компоненті *a*;

- для компонента *b*

$$E''_{k,b} + E''_{ph,b} = E'''_{k,b} + E'''_{ph,b} + E_{D,b} + E_{L,b}, \quad (8)$$

де  $E''_{k,b} + E''_{ph,b} = E_{F,b} = E_{P,a}$  – сума кінетичної і фізичної ексергії на вході в компонент *b*;  $E'''_{k,b} + E'''_{ph,b} = E_{P,b}$  – сума кінетичної і фізичної ексергії на виході з компонента *b*;  $E_{D,b}$  – деструкція ексергії в компоненті *b*;  $E_{L,b}$  – втрати ексергії в компоненті *b*.

Фізична ексергія ВГ визначається за формулою:

$$E_{ph} = (H - H_0) - T_0(S - S_0) = \Delta H - T_0 \Delta S, \quad (9)$$

де  $\Delta H, \Delta S$  – ентальпія та ентропія, що відраховуються від стану, який визначається при тиску  $p_0$  і температурі  $T_0$  навколишнього середовища ( $p_0 = 101325$  Па,  $T_0 = 293$  К), до стану, який визначається параметрами  $p$  і  $T$ .

Кінетична ексергія ВГ визначається за формулою:

$$E_k = \frac{m \mathcal{G}^2}{2}, \quad (10)$$

де  $m$  – маса ВГ у газовипускному тракті, кг;  $\mathcal{G}$  – швидкість ВГ у компоненті випускного тракту, м/с.

Внаслідок необоротності процесу дроселювання в компоненті  $a$  і розширення ВГ в компоненті  $b$  у них мають місце внутрішні втрати ексергії. Як наслідок для компонентів  $a$  і  $b$  відповідно будуть виконуватись нерівності  $E_{F,a} > E_{P,a}$ ,  $E_{F,b} > E_{P,b}$ .

Деструкція ексергії визначається за формулою:

$$E_D = T_0 \Delta S_{\text{компон.}}, \quad (11)$$

де  $\Delta S_{\text{компон.}}$  – зміна ентропії ВГ в компоненті внаслідок необоротних процесів.

Для ВГ зміна ентропії у компоненті визначиться за формулою:

$$\Delta S_{\text{компон.}a} = S - S_0, \quad (12)$$

де  $S$ ,  $S_0$  – відповідно ентропії стану ВГ при параметрах  $p$  і  $T$  та стану, який визначається тиском  $p_0$  і температурою  $T_0$  навколишнього середовища ( $p_0 = 101325$  Па,  $T_0 = 293$  К).

Окрім деструкції ексергії в газовипускному тракті присутні також втрати за рахунок газодинамічного опору та втрати внаслідок теплообміну трактів з навколишнім середовищем.

Втрати від газодинамічних опорів дорівнюють:

$$E_{z.o.} = T_0 R_{\Gamma} \ln \frac{p'}{p''}, \quad (13)$$

де  $R_{\Gamma} = \frac{R}{\mu_{\Gamma}}$  – газова стала ВГ;  $p'$ ,  $p''$  – тиск ВГ на вході і на виході з компонента, Па.

Втрати від теплообміну з навколишнім середовищем дорівнюють:

$$E_{\text{навк.с.}} = Q \left( 1 - \frac{T_0}{T_{\text{комп.}}} \right), \quad (14)$$

де  $Q$  – кількість теплоти, що втрачається в навколишнє середовище, Дж;  $T_{\text{комп.}}$  – температура ВГ в компоненті, К.

Ексергетична ефективність будь-якого компонента газовипускного тракту дорівнює відношенню ексергії продукту до ексергії палива:

$$\varepsilon = \frac{E_P}{E_F} = \frac{E_F - E_D - E_{z.o.} - E_{\text{навк.с.}}}{E_F}. \quad (15)$$

Співвідношення (15) для компонента  $a$  записується у вигляді:

$$\varepsilon_a = \frac{E_{P,a}}{E_{F,a}} = \frac{E_{F,a} - E_{D,a} - E_{z.o.,a} - E_{\text{навк.с.,}a}}{E_{F,a}}. \quad (16)$$

Аналогічно для компонента  $b$  маємо:

$$\varepsilon_b = \frac{E_{P,b}}{E_{F,b}} = \frac{E_{F,b} - E_{D,b} - E_{e.o.,b} - E_{наек.с.,b}}{E_{F,b}} \quad (17)$$

Ексергетична ефективність газовипускного тракту дорівнює добутку ексергетичних ефективностей для цих компонентів  $\varepsilon_{тракту} = \varepsilon_a \cdot \varepsilon_b$ .

Наступним кроком є визначення додаткових ексергетичних критеріїв, які необхідні при аналізі газовідвідного тракту і визначенні взаємозалежності між його компонентами.

Відносна деструкція ексергії компонента визначається за формулою:

$$y_D = \frac{E_D}{E_F} \quad (18)$$

$$y_{D,a} = \frac{E_{D,a}}{E_{F,a}}, \quad y_{D,b} = \frac{E_{D,b}}{E_{F,b}}$$

Для компонентів  $a$  і  $b$  відповідно маємо:

Відносні втрати ексергії компонента газовипускного тракту знаходяться так:

$$y_L = \frac{E_L}{E_F} \quad (19)$$

$$y_{L,a} = \frac{E_{L,a}}{E_{F,a}}, \quad y_{L,b} = \frac{E_{L,b}}{E_{F,b}}$$

Для компонентів  $a$  і  $b$  відповідно отримуємо:

Параметр, який показує дольову частку деструкції ексергії в компоненті газовипускного тракту від загальної деструкції в тракті, можна знайти з виразу

$$y^*_{D,i} = \frac{E_{D,i}}{\sum_i E_{D,i}} \quad (20)$$

Для компонентів  $a$  і  $b$  вказані частки відповідно дорівнюють:

$$y^*_{D,a} = \frac{E_{D,a}}{E_{D,a} + E_{D,b}}, \quad y^*_{D,b} = \frac{E_{D,b}}{E_{D,a} + E_{D,b}}$$

**Результати досліджень.** Розрахунок ексергетичних втрат у газовипускному тракті за розробленою методикою виконаний на основі наведених у літературі [1, 2, 4] орієнтовних показників процесів, що відбуваються в ДВЗ та формул і рекомендацій, за якими ці величини розраховувалися. Результати розрахунків дослідження зведено в таблицю.

Таким чином, розроблено методику розрахунку ексергетичних втрат у газовипускних трактах ДВЗ, яка дає можливість проводити розрахунки цих втрат та виконати оптимальне проектування трактів з метою забезпечення мінімізації енергетичних втрат.

У роботі додатково наведено ексергетичні критерії, застосування яких при розрахунках дозволяє зробити висновки щодо знаходження шляхів вдосконалення тракту в цілому.

## Результати розрахунків дослідження ексергетичних втрат

Назва	Умовне позначення	Значення
Питома фізична і кінетична ексергії ВГ на вході в компонент <i>a</i> , кДж/кг	$e'_{ph,a}; e'_{k,a}$	3525; 2450
Питома фізична і кінетична ексергії ВГ на виході з компонента <i>a</i> , кДж/кг	$e''_{ph,a}; e''_{k,a}$	2025; 1800
Питома фізична і кінетична ексергії ВГ на вході в компонент <i>b</i> , кДж/кг	$e''_{ph,b}; e''_{k,b}$	2025; 1800
Питома фізична і кінетична ексергії ВГ на виході з компонента <i>b</i> , кДж/кг	$e'''_{ph,b}; e'''_{k,b}$	1520; 800
Деструкції ексергій компонентів <i>a</i> і <i>b</i> , кДж/кг	$e_{D,a}; e_{D,b}$	1749; 1233
Втрати ексергій компонентів <i>a</i> і <i>b</i> , кДж/кг	$e_{L,a}; e_{L,b}$	450; 500
Коефіцієнт ексергетичної ефективності компонентів <i>a</i> і <i>b</i>	$\varepsilon_a; \varepsilon_b$	0,64; 0,6
Відносні деструкції ексергій компонентів <i>a</i> і <i>b</i>	$y_{D,a}; y_{D,b}$	0,293; 0,322
Відносні втрати ексергій компонентів <i>a</i> і <i>b</i>	$y_{L,a}; y_{L,b}$	0,075; 0,130
Дольові частки деструкцій ексергій в компонентах <i>a</i> і <i>b</i>	$y^*_{D,a}; y^*_{D,b}$	0,586; 0,414

### Висновки

Розроблено методику ексергетичного аналізу газовипускного тракту ДВЗ з врахуванням всіх видів енергетичних втрат на вказаній ділянці, яка дає змогу визначити ступінь необоротності дійсного процесу в компоненті газовипускного тракту без розглядання циклу двигуна в цілому.

Визначено ексергетичні критерії, які вказують на значні втрати, пов'язані з газодинамічним опором і теплопередачею з навколишнім середовищем. Також значними є деструкції ексергій внаслідок необоротності процесу дроселювання в компоненті *a* та розширення газів у компоненті *b*.

Подальше вдосконалення газовипускного тракту можливе за рахунок зменшення ексергетичних втрат шляхом розробки оптимальної конструкції тракту (з мінімальним газодинамічним опором) і вдосконаленням його теплової ізоляції.

### Список літератури

1. Ваншейдт В. А. Конструирование и расчет прочности судовых дизелей / В. А. Ваншейдт. – Л.: Судостроение, 1969. – 640 с.
2. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания: [в 2 т.] / И. В. Возницкий, А. С. Пунда. – М.: МОРКНИГА, 2010. – Т. 1. – 260 с.; Т. 2. – 382 с.
3. Горобец В. Г. Оценка эксергетической эффективности утилизаторов теплоты отработанных газов в когенерационных установках на базе двигателей внутреннего сгорания / В. Г. Горобец, Ю. А. Богдан // Науковий вісник Херсонської держ. морської академії. – Херсон, 2013. – №1(8). – С. 112 – 118.
4. Лебедев О. Н. Двигатели внутреннего сгорания речных судов: учеб. для вузов. / Лебедев О. Н., Сомов В. А., Калашников С. А. – М.: Транспорт, 1990. – 328 с.

5. Тсатсаронис Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы / Джордж Тсатсаронис; науч. ред. и пер. с англ. Т.В. Морозюк. – Одесса: Студия «Негоциант», 2002. – 152 с.

*Разработана методика для определения эксергетических потерь, эксергетической эффективности и эксергетических критериев выпускного тракта двигателей внутреннего сгорания, которая позволяет оценить эффективность протекания отработанных газов по газовому тракту с учетом всех видов потерь.*

**Эксергетический анализ, эксергетические потери, эксергетическая эффективность, эксергетические критерии, выпускной тракт, двигатель внутреннего сгорания.**

*In this article the method by definition of exergy losses, exergy efficiency and exergy criteria of an exhaust manifold of the internal combustion engines is given. This method allows to estimate the efficiency of exhaust gases in the exhaust manifold with taking into account all types of losses.*

**Exergy analysis, exergy losses, exergy efficiency, exergy criteria, exhaust manifold, internal combustion engine.**

УДК 621.31:62.5

## **НЕЙРОНЕЧИТКА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЮВАННЯМ БІОСИРОВИНИ**

**В. С. Федорейко, доктор технічних наук  
І. Б. Луцик, І. С. Іскерський, кандидати технічних наук  
Тернопільський національний педагогічний  
університет імені В.Гнатюка**

*Запропоновано спосіб реалізації системи керування процесом вентилювання біосировини на основі нейронечітких технологій. Наведено послідовність визначення режимних параметрів технологічної установки із врахуванням факторів, що впливають на її енергоощадність.*

**Вентилювання, біосировина, система керування, енергозатрати, нейронечіткі технології.**

Комплексність вирішення завдань підвищення якості продукції та зменшення усіх видів затрат на її виробництво потребують перегляду усіх задач вже на етапі проектування систем керування технологічними процесами [2].

Ця проблема є актуальною і для електротехнологічних комплексів

5. Тсатсаронис Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы / Джордж Тсатсаронис; науч. ред. и пер. с англ. Т.В. Морозюк. – Одесса: Студия «Негоциант», 2002. – 152 с.

*Разработана методика для определения эксергетических потерь, эксергетической эффективности и эксергетических критериев выпускного тракта двигателей внутреннего сгорания, которая позволяет оценить эффективность протекания отработанных газов по газовому тракту с учетом всех видов потерь.*

**Эксергетический анализ, эксергетические потери, эксергетическая эффективность, эксергетические критерии, выпускной тракт, двигатель внутреннего сгорания.**

*In this article the method by definition of exergy losses, exergy efficiency and exergy criteria of an exhaust manifold of the internal combustion engines is given. This method allows to estimate the efficiency of exhaust gases in the exhaust manifold with taking into account all types of losses.*

**Exergy analysis, exergy losses, exergy efficiency, exergy criteria, exhaust manifold, internal combustion engine.**

УДК 621.31:62.5

## **НЕЙРОНЕЧИТКА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЮВАННЯМ БІОСИРОВИНИ**

**В. С. Федорейко, доктор технічних наук  
І. Б. Луцик, І. С. Іскерський, кандидати технічних наук  
Тернопільський національний педагогічний  
університет імені В.Гнатюка**

*Запропоновано спосіб реалізації системи керування процесом вентилювання біосировини на основі нейронечітких технологій. Наведено послідовність визначення режимних параметрів технологічної установки із врахуванням факторів, що впливають на її енергоощадність.*

**Вентилювання, біосировина, система керування, енергозатрати, нейронечіткі технології.**

Комплексність вирішення завдань підвищення якості продукції та зменшення усіх видів затрат на її виробництво потребують перегляду усіх задач вже на етапі проектування систем керування технологічними процесами [2].

Ця проблема є актуальною і для електротехнологічних комплексів

активного вентилявання зерноскладів, де витрати енергії, у порівнянні з науково обґрунтованими нормами, вищі в середньому на 30 %.

Основною метою системи керування вентиляційною установкою є підтримання температури та вологості біосировини не вище гранично допустимих норм при мінімальних витратах електроенергії. Оскільки задача організації енергоощадних режимів роботи електропривода вентиляційної установки є багатокритеріальною, то реалізувати її раціональне управління можливо шляхом створення інтегрованої технології провадження процесу.

Аналіз наукових робіт у цій області свідчить про те, що класичні методи та моделі діагностування стану біосировини не дають адекватної інформації про функціонування системи. Адже процеси, що відбуваються у насипі зерна характеризуються нелінійною поведінкою, для них характерне виникнення нештатних ситуацій (самозігрівання), їх складно описати математично. В свою чергу нейронні мережі здатні формувати дуже точну апроксимацію для складних недетермінованих нелінійних функцій будь-якої тривалості. Отже, у цих випадках варто використовувати експертні системи на основі нечіткої логіки з реалізацією їх на базі апаратних або програмно-алгоритмічних емуляційних нейронних мереж [3].

**Мета досліджень** – встановлення раціональних енергоощадних режимів роботи технологічного процесу вентилявання біосировини за допомогою системи керування шляхом застосування нейронечітких технологій.

**Матеріали та методика досліджень.** Методом раціоналізації режимів роботи системи керування та підвищення її ефективності, мобільності та гнучкості є застосування адаптивних алгоритмів та нейронечітких технологій. Тому основою проектування цього типу систем керування є конструювання бази знань, методи подання яких ґрунтуються на принципах теорії систем та штучного інтелекту. Кількісною мірою якості функціонування технологічної системи є змішаний критерій її ефективності: якісні показники біосировини та енерговитрати [1].

**Результати досліджень.** Енергоощадність технології вентилявання та ефективність роботи системи керування залежить, в першу чергу, від якості контролю процесу. Така система повинна забезпечувати автоматичний поточний контроль параметрів процесу зберігання та техніко-економічних показників роботи вентиляційного обладнання. Тільки на основі повної та оперативної інформації щодо вказаних показників можливе визначення раціональних енергоощадних режимів роботи вентиляційних установок.

Система керування технологічним процесом вентилявання повинна забезпечувати вирішення двох основних взаємопов'язаних завдань.

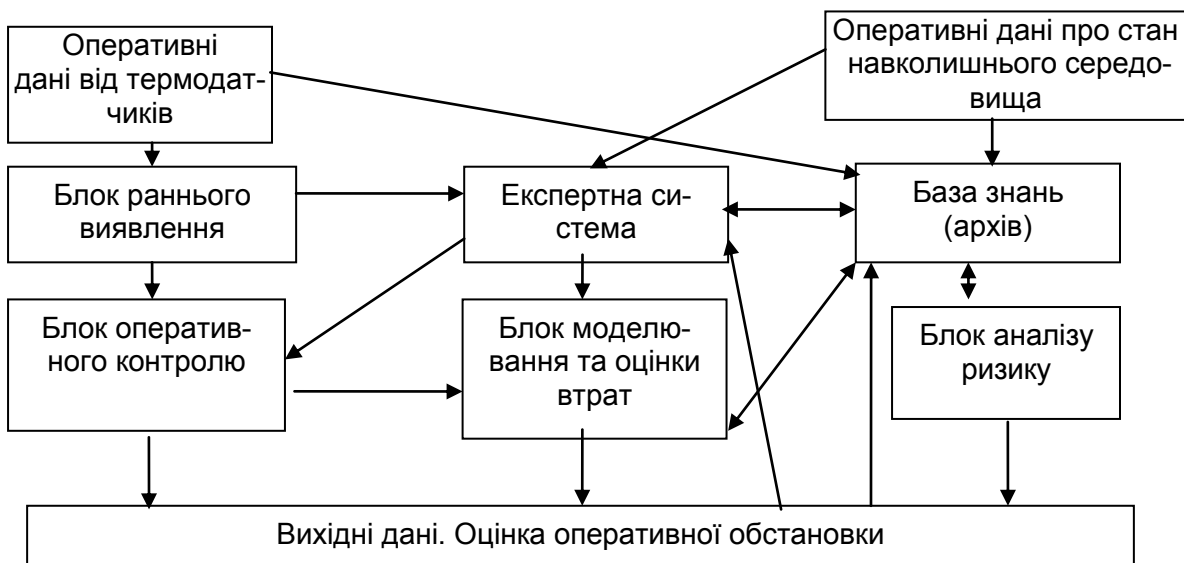
1. Аналіз стану сировини для виявлення осередків самозігрівання чи наявності шкідників та визначення необхідних умов для проведення вентилявання.

2. Вибір режимних параметрів установок активного вентилявання.

Цільовою функцією керування процесом активного вентилявання зерна  $Z_{AB}$  є мінімізація втрат зерна  $B_3$ , витрат енергії  $E_{ав}$  при відповідних обмеженнях за якісними показниками продукту:

$$Z_{AB} = B_3 \wedge E_{AB}, \begin{cases} E_{ав} = f(Q, H_{зу}, m_3) \Rightarrow \min \\ B_3 = f(t_3, w_3, k_{зук}) \Rightarrow \min \end{cases} \quad (1)$$

В основі функціональної схеми розв'язку першого завдання – діагностики стану біосировини, лежить експертна система (рис.1). Оперативна інформація від термодатчиків, дані про температуру та вологість повітря, результати розрахованих значень та параметрів заносяться у базу даних з метою їх подальшого використання для прогнозування процесу самозигрівання.



**Рис 1. Функціональна схема розв'язку задачі діагностики**

Реалізувати ефективну систему діагностики стану біосировини за умов недостатності вимірювальної інформації можна на основі використання технології Data Mining – процесу підтримки прийняття рішень, які ґрунтуються на пошуку у наявних даних прихованих закономірностей. За цією технологією, використовуючи механізми віртуальних датчиків, можна встановити не тільки поточні значення температур, а й загальну тенденцію зміни градієнта температури в насипі на відстані від осередку самозигрівання.

Оцінювання отриманих даних за допомогою експертної системи дозволяє прогнозувати розвиток самозигрівання.

Також доцільним є використання гібридних адаптивних нейронетических систем (ANFIS) і для розв'язання задач допустимості проведення вентилявання та диференціації швидкісних режимів електропривода вентилятора. Адже в цих випадках діапазон допустимих значень також є нечітко визначеним і змінним в умовах впливу різноманітних збурень, до яких належать фактори: абіотичні – температура і вологість повітря; технологічні – зміна продуктивності вентилятора та вологості чи температури зерна; біологічні – наявність шкідників [1].

Визначення умов проведення активного вентиляювання здійснюється на основі модуля, сформованим за каскадним методом і який складається з двох fuzzy-систем, реалізованих на основі алгоритму *Sugeno* (рис.2.а):

– підсистеми визначення відносної вологості повітря  $w_{n.в.}$ , що здійснюється на основі параметричної залежності, яка формується згідно з психрометричною таблицею:

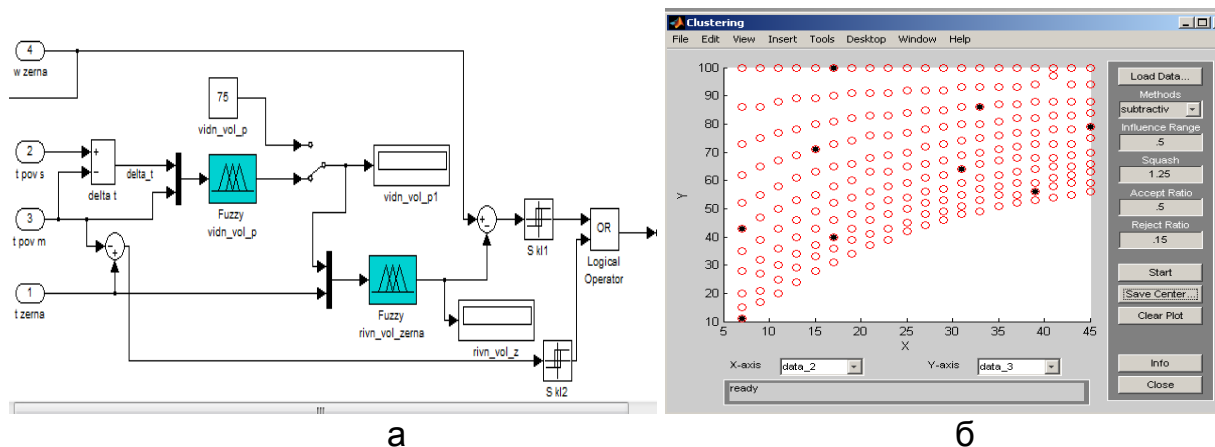
$$w_{n.в.} = f(t_{n.м.м.}, \Delta t_{n.м.}) , \quad (2)$$

де  $\Delta t_{n.м.}$  – різниця значень температури за мокрим  $t_{n.м.м.}$  і сухим термометром;

– підсистеми визначення рівноважної вологості зерна проводиться на основі даних відносної вологості повітря  $w_{n.в.}$  та температури зерна  $t_з$ :

$$w_{р.з.} = f(t_з, w_{n.в.}) \quad (3)$$

Для встановлення мінімальної кількості термів, які б адекватно дозволили відтворити діапазон значень вхідних змінних, проведена кластеризація розподілу даних. Подальше тестування та перевірка роботи навчених систем довели їх адекватність, адже середньоквадратична похибка становила не більше 0,35 % (рис. 2,б).



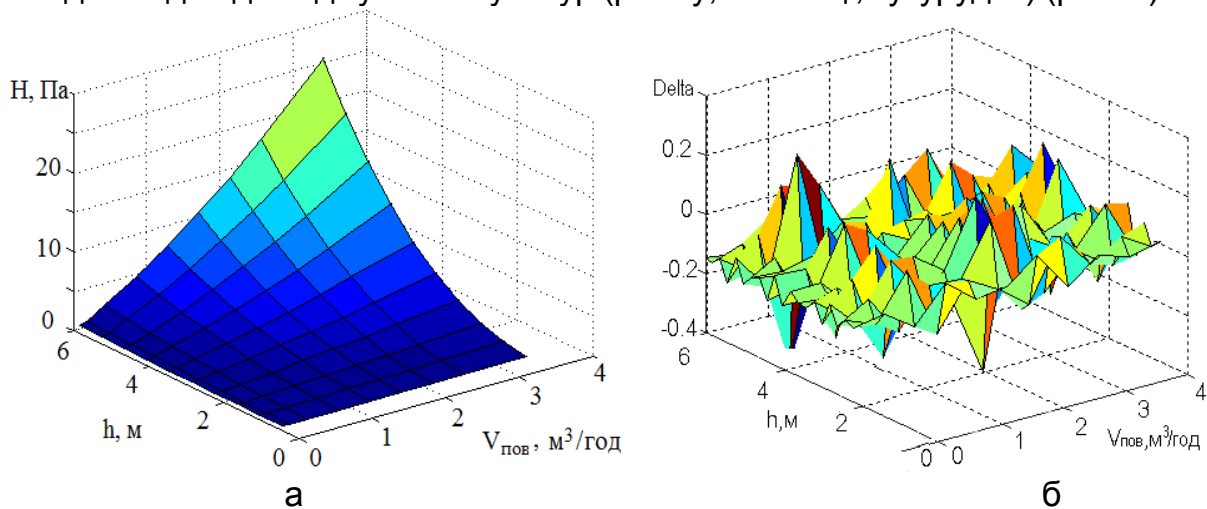
**Рис. 2. Модуль визначення умов проведення активного вентиляювання:**  
 а – блок визначення рівноважної вологості зерна;  
 б – визначення центрів кластерів розподілу даних

Для вирішення завдання вибору режимних параметрів установок активного вентиляювання необхідно визначити продуктивність вентиляювання ( $Q$ , м<sup>3</sup>/год), яка залежить від маси зернового насипу, вибору режиму вентиляювання згідно зі значеннями детекторів зараженості та самозигрівання й основних теплофізичних характеристик зерна певної культури (теплопровідності –  $\lambda$ , температуропровідності –  $a$ , тепловіддачі –  $\alpha$ ):

$$Q = f(m_з, R, \lambda, \alpha, a) . \quad (2)$$

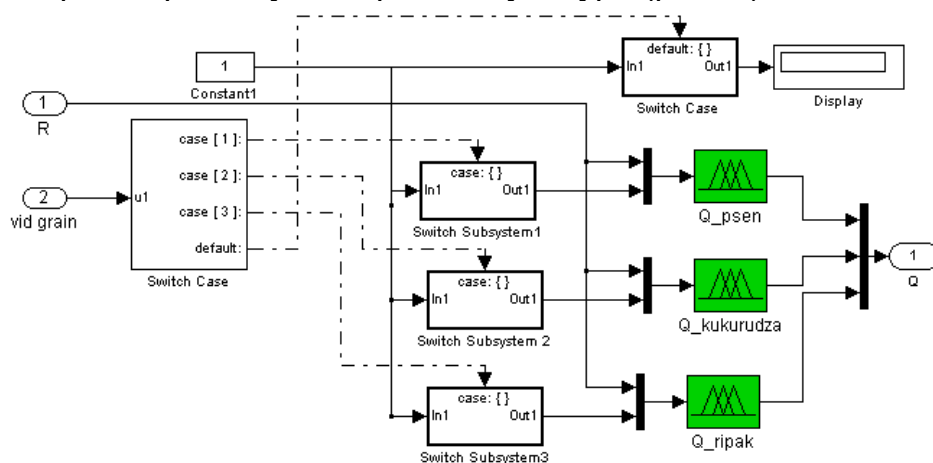
При цьому потрібно проводити корекцію необхідного напору з урахуванням опору насипу зерна, для врахування яких використана fuzzy-

система, формування баз знань якої здійснено на основі експериментальних даних для досліджуваних культур (ріпаку, пшениці, кукурудзи) (рис. 3).



**Рис. 3. Результати навчання системи визначення опору насипу кукурудзи: а – відтворена поверхня залежності опору насипу зерна; б – поверхня похибок**

Продуктивність вентиляційного комплексу  $Q$ , згідно з аналізом норм вентилявання свідчить, що діапазон значень нечіткий і доволі розмитий. Це підтверджує коректність рішення щодо застосування засобів штучного інтелекту для визначення оптимальної продуктивності вентилятора. Отже, нечіткі системи реалізують вибір продуктивності вентилявання відповідно до вибраних режиму та зернової культури (рис. 4).



**Рис. 4. Підсистема визначення продуктивності вентилятора**

Таким чином, розроблена система керування проводить обробку інформації від датчиків температури, значень вологості зерна і повітря та показника зараженості зерна з певною дискретністю у часі. За допомогою окремих модулів спочатку перевіряють допустимість проведення вентилявання (визначення рівноважної вологості зерна). Після цього вибирають режим вентилявання згідно зі значеннями детекторів зараженості та самозгрівання. На їх основі встановлюється необхідна продуктивність вентилятора із врахуванням втрат напору, що відбувається через опір зер-

нового шару. Сигнал від системи керування є задатчиком для частотного регулятора асинхронного електродвигуна привода вентилятора.

Основною проблемою програмної реалізації алгоритмів на базі нечіткої логіки та нейронних мереж є необхідність обробки великого обсягу інформації в реальному часі. Тому, для підвищення швидкодії нейрорегуляторів використовується апаратна реалізація їх алгоритмів. У таких випадках доцільним є використання мікроконтролерів, що поєднують аналоговий і цифровий принцип дії і програмовані користувачем як чисті цифрові схеми з мажорунням. До таких схем належать інтегральні схеми OMRON FP-3000, TOGAI-Infra Logic F 110, які легко підключаються до датчиків і виконавчих механізмів.

Ефективність функціонування системи керування швидкісними режимами роботи комплексу активного вентилявання, яка реалізована на базі мікроконтролера AT91SAM7XC512 з використанням програмного забезпечення, що розроблено на основі створених нами алгоритмів підтверджено тестуванням, яке здійснювалось як на базі експериментальної моделі, так і безпосередньо у виробничих умовах. Результати виробничих випробувань довели, що енергоспоживання процесу вентилявання при визначених швидкісних режимах продуктивності вентилятора знизилася на 29 %, тобто на 1/3 менше, ніж при нерегульованому способі.

### **Висновки**

Розроблено систему керування процесом вентилявання біосировини на основі використання адаптивних гібридних нейронних мереж. Середня похибка навчених систем не перевищувала 0,35 %.

Апробація визначених швидкісних режимів вентилявання, які реалізуються з використанням системи керування, виявила, що тривалість вентилявання зерна може бути скорочена на 15–50 % залежно від метеорологічних умов та виду зерна, а енерговитрати знижені на 30 %

### **Список літератури**

1. Луцик І.Б. Вплив швидкісних режимів установок активного вентилявання на біологічні процеси в зерновому насипі / І. Б. Луцик // Науковий вісник НУБіП України. – 2013. – Вип. 184. – С. 246–251.
2. Федорейко В.С. Енергоефективне керування електроприводом технологічних установок / В. С. Федорейко, І. Б. Луцик, І. С. Іскерський // Світлотехніка й електроенергетика: проблеми, перспективи : IV міжнар. наук.-техн. конф., 24–25 квіт. 2012 р., Тернопіль, 2012. – С. 121–123.
3. Федорейко В.С. Моніторинг температури у зерносховищах на основі нейротехнологій / В.С. Федорейко, І. Б. Луцик // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – Вип. 24, т. 4. – С. 139–148.

*Предложен способ реализации системы управления процессом вентилирования биосырья на основе нейронечетких технологий. Представлена последовательность определения режимных параметров технологической установки с учетом факторов, влияющих на ее энергосбережение.*

**Вентилирование, биосырье, система управления, энергозатраты, нейронечеткие технологии.**

*Are proposed The method of implementation system of control of process of ventilation raw materials based on neuro-fuzzy technology. Are presented the sequence of determination of regime parameters of systems active ventilation, taking into account factors affecting its energy efficiency.*

***Ventilation, raw materials, control system, energy costs, neuro-fuzzy technology.***

УДК 516.9

## **ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ ФЛОЙДА-УОРШОЛЛА ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ**

***В.О. Качурівський, кандидат педагогічних наук  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

*Розглянуто питання моделювання плану роботи електротехнічних служб при проведенні технічного обслуговування об'єктів енергетичних систем. Визначено способи застосування інформаційних технологій при побудові графа електротехнічних об'єктів. Проведено програмування розрахунків найкоротших відстаней між вершинами графа та описано методику вибору оптимальних маршрутів доступу до електротехнічних об'єктів.*

***Моделювання, алгоритм Флойда-Уоршолла, граф, оптимальні шляхи, програмування, інформаційні технології.***

Організація роботи підрозділів районних електричних мереж (РЕМ) з технічного та сервісного обслуговування устаткування для постачання електроенергії, зокрема щодо визначення оптимального порядку та послідовності виконання різних операцій, займає значне місце в енергетиці [2].

При плануванні роботи електротехнічної служби з обслуговування об'єктів енергетичних систем особливу увагу заслуговує задача розробки маршрутів під'їзду до них. Розгорнута сітка автомобільних доріг визначає велику кількість можливих маршрутів доступу до електротехнічних об'єктів, тому постає проблема оптимізації маршрутів пересування, які скорочують матеріальні затрати підприємства, що у свою чергу веде до економії коштів та підвищення рентабельності енергетичних систем.

Окрім того, визначені шляхи та час, затрачений на переміщення по них, може бути використані при плануванні денного чи тижневого обсягу робіт бригади з технічного чи сервісного обслуговування енергетичної системи.

*Are proposed The method of implementation system of control of process of ventilation raw materials based on neuro-fuzzy technology. Are presented the sequence of determination of regime parameters of systems active ventilation, taking into account factors affecting its energy efficiency.*

***Ventilation, raw materials, control system, energy costs, neuro-fuzzy technology.***

УДК 516.9

## **ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ ФЛОЙДА-УОРШОЛЛА ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ**

***В.О. Качурівський, кандидат педагогічних наук  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

*Розглянуто питання моделювання плану роботи електротехнічних служб при проведенні технічного обслуговування об'єктів енергетичних систем. Визначено способи застосування інформаційних технологій при побудові графа електротехнічних об'єктів. Проведено програмування розрахунків найкоротших відстаней між вершинами графа та описано методику вибору оптимальних маршрутів доступу до електротехнічних об'єктів.*

***Моделювання, алгоритм Флойда-Уоршолла, граф, оптимальні шляхи, програмування, інформаційні технології.***

Організація роботи підрозділів районних електричних мереж (РЕМ) з технічного та сервісного обслуговування устаткування для постачання електроенергії, зокрема щодо визначення оптимального порядку та послідовності виконання різних операцій, займає значне місце в енергетиці [2].

При плануванні роботи електротехнічної служби з обслуговування об'єктів енергетичних систем особливу увагу заслуговує задача розробки маршрутів під'їзду до них. Розгорнута сітка автомобільних доріг визначає велику кількість можливих маршрутів доступу до електротехнічних об'єктів, тому постає проблема оптимізації маршрутів пересування, які скорочують матеріальні затрати підприємства, що у свою чергу веде до економії коштів та підвищення рентабельності енергетичних систем.

Окрім того, визначені шляхи та час, затрачений на переміщення по них, може бути використані при плануванні денного чи тижневого обсягу робіт бригади з технічного чи сервісного обслуговування енергетичної системи.

**Мета досліджень** – моделювання системи електротехнічних об'єктів та маршрутів доступу до них на основі теорії графів та розробка комп'ютерної програми на мові С++ для реалізації алгоритму Флойда-Уоршолла пошуку найкоротших шляхів між усіма  $n$  об'єктами графа.

**Результати досліджень.** Надалі усі розробки будуть стосуватися південно-східної частини м. Бережани Тернопільської області.

Для розробки оптимальних маршрутів пересування бригади з обслуговування електротехнічних об'єктів енергетичної системи необхідно вирішити такі задачі:

- 1) створити графічну модель розташування електротехнічних об'єктів певної території;
- 2) доповнити модель об'єктами дорожніх перехресть, які можуть змінити маршрут руху;
- 3) встановити зв'язки між об'єктами графа та визначити реальні відстані;
- 4) розрахувати найкоротші шляхи між усіма парами  $n$  вершин графа.

**Завдання 1.** Для створення графічної моделі електротехнічних об'єктів необхідна топографічна карта місцевості. За переліком електротехнічних об'єктів (у нашому випадку трансформаторні підстанції) здійснюємо нанесення на карту графічних зображень за місцем їх розташування. Графічно основні електротехнічні об'єкти позначимо квадратами. Кожен квадрат може бути підписаний кодом, яким він позначений у РЕМі, але у графі ці коди не будуть використовуватися. Вони будуть нести лише дані про специфікацію трансформаторної підстанції.

**Завдання 2.** Оскільки мережа автомобільних доріг міста є достатньо розгалуженою, то на карті позначимо перехрестя автомобільних доріг вузловими точками у вигляді кіл. Ці вузли будуть використовуватися як контрольні точки для маршрутів переміщення. Кожен об'єкт, який зображено графічно, стає вершиною графа. Графічна модель розташування основних та допоміжних вершин має такий вигляд (рисунок).

**Завдання 3.** Якщо між об'єктами є пряме сполучення, то з'єднуємо їх лінією (дугою). За допомогою інтернет-ресурсу <https://maps.google.com.ua/?hl=ua> проводимо розрахунок відстаней між ними. Кожна дуга має своє числове значення, а отже вагу (див. рисунок).

Окрім того, кожен зв'язок може мати напрямок, за яким здійснюється переміщення. Якщо між вибраними об'єктами можливий двосторонній рух, то на графі він зображується двосторонньою стрілкою, якщо односторонній, то односторонньою стрілкою у тому напрямку, куди можна здійснювати рух.

У нашому випадку граф має 32 вершини, серед яких – 14 основних вузлів (трансформаторні підстанції) та 18 допоміжних (перехрестя доріг).

**Завдання 4.** Для знаходження довжин найкоротших шляхів між усіма парами  $n$  вершин графа застосуємо алгоритм Флойда-Уоршолла [1, 3], попередньо склавши квадратну матрицю  $D$  порядку  $n$  з довжин дуг графа. Елемент матриці  $D_{ij}$  є довжиною дуги між вершинами  $(i,j)$ . Якщо дуги між елементами  $(i,j)$  не існує, то приймаємо, що відстань є нескінченно



редакторі, а при збереженні документа (data\_b.txt ) застосовуємо тип файла «Звичайний текст» із параметром «Вставляти розриви рядків».

### 1. Фрагмент матриці відстаней D для вузлових точок

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	700	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990
2	700	0	280	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	140
3	9990	280	0	450	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	350	9990
4	9990	9990	450	0	300	9990	9990	9990	9990	9990	900	9990	9990	9990	9990
5	9990	9990	9990	300	0	1000	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990
6	9990	9990	9990	9990	1000	0	430	850	9990	9990	9990	9990	9990	9990	9990
7	9990	9990	9990	9990	9990	430	0	450	9990	290	9990	9990	9990	9990	9990
8	9990	9990	9990	9990	9990	850	450	0	350	9990	9990	9990	9990	9990	9990

Водночас формуємо матрицю S порядку  $n$ , у якій  $S_{ij} = j$ , а елементи головної діагоналі дорівнюють нулю. Матриця S є матрицею попередніх вершин.

Базовою ідеєю алгоритму Флойда-Уоршолла є твердження: якщо виконується нерівність  $D_{ik} + D_{kj} < D_{ij}$  ( $i=1 \dots n, j=1 \dots n, k=1 \dots n$ ), то шлях дугою  $(i,j)$  замінюється двома послідовними дугами  $(i,k)$  та  $(k,j)$ , а  $S_{ij} = k$ , що є ознакою наявності шляху  $(i,k)$  та  $(k,j)$  [1, 3].

Для проведення числових розрахунків цей алгоритм реалізовано на мові програмування C++. Нижче подано текст програми.

```
# include <fstream.h>
# include <iostream.h>
using namespace std;
int main()
{ ifstream fin ("data_b.txt");
  ofstream out_e ("data_e.txt");
  ofstream out_s ("data_s.txt");
  int D[33][33]; int S[33][33]={0}; int i,j,k,n=32;
  // Формування матриць D,S
  for(i=1;i<=n;i++)
    for(j=1;j<=n;j++)
      {if(i!=j)S[i][j]=j;fin>>D[i][j];}
  // Реалізація алгоритму Флойда-Уоршолла
  for(k=1;k<=n;k++)
    for(i=1;i<=n;i++)
      for(j=1;j<=n;j++)
        if(D[i][k]+D[k][j]<D[i][j])
          {D[i][j]=D[i][k]+D[k][j]; S[i][j]=k;}
  // Вивід матриць у файли data_e.txt та data_s.txt
  for(i=1;i<=n;i++)
    for(j=1;j<=n;j++)
      if(j!=32)
        {out_e<<D[i][j]<<" ";
         out_s<<S[i][j]<<" ";
```

```

else
    {out_e<<D[i][j]<<endl;
    out_s<<S[i][j]<<endl;}
out_s.close();out_s.close(); fin.close();
return 0;}

```

Після роботи програми отримаємо текстовий файл data\_e.txt – матрицю довжин між вершинами графа. Для зручності роботи цей файл перетворюємо у таблицю в текстовому редакторі. У табл. 2 наведено фрагмент результуючої матриці.

## 2. Фрагмент результуючої матриці довжин дуг

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	700	980	1430	1730	2730	2760	2950	2600	2470	2330	1990	1790	1240	840
2	700	0	280	730	1030	2030	2060	2250	1900	1770	1630	1290	1090	540	140
3	980	280	0	450	750	1750	1780	2090	1740	1490	1350	1150	950	350	420
4	1430	730	450	0	300	1300	1330	1640	1290	1040	900	1540	1400	800	870
5	1730	1030	750	300	0	1000	1430	1850	1590	1340	1200	1840	1700	1100	1170
6	2730	2030	1750	1300	1000	0	430	850	970	720	860	1220	1420	2020	2170
7	2760	2060	1780	1330	1430	430	0	450	540	290	430	790	990	1590	1940
8	2950	2250	2090	1640	1850	850	450	0	350	600	740	960	1160	1760	2110
9	2600	1900	1740	1290	1590	970	540	350	0	250	390	610	810	1410	1760

*Наприклад:* необхідно визначити довжину шляху між вершинами 1 та 9. На основі результуючої матриці (табл. 2.)  $D_{1,9} = 2600$  м.

Текстовий файл data\_s.txt – матриця вершин попередників. Фрагмент результуючої матриці буде таким (табл. 3.).

*Наприклад:* необхідно визначити маршрут руху між вершинами 1 та 9.

## 3. Фрагмент результуючої матриці вершин попередників

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	2	2	3	4	5	11	18	18	11	4	18	18	16	2	15	16	17
2	1	0	3	3	4	5	11	18	18	11	4	18	18	16	15	15	16	17
3	2	2	0	4	4	5	11	11	11	11	4	14	14	14	2	15	18	14
4	3	3	3	0	5	5	11	11	11	11	11	11	14	3	3	15	18	14
5	4	4	4	4	0	6	6	6	11	11	4	11	14	4	4	15	18	14
6	5	5	5	5	5	0	7	8	10	7	10	10	12	13	5	15	18	13
7	11	11	11	11	6	6	0	8	10	10	10	10	12	13	18	18	18	13
8	18	18	11	11	6	6	7	0	9	9	10	9	12	13	18	18	18	13
9	18	18	11	11	11	10	10	8	0	10	10	12	12	13	18	18	18	13
10	11	11	11	11	11	7	7	9	9	0	11	12	12	13	18	18	18	13
11	4	4	4	4	4	10	10	10	10	10	0	10	12	13	4	18	18	13
12	18	18	14	11	11	10	10	9	9	10	10	0	13	13	18	18	18	13
13	18	18	14	14	14	12	12	12	12	12	12	12	0	14	18	18	18	18
14	16	16	3	3	4	13	13	13	13	13	13	13	13	0	16	16	18	13
15	2	2	2	3	4	5	18	18	18	18	4	18	18	16	0	16	16	17
16	15	15	15	15	15	15	18	18	18	18	18	18	18	14	15	0	17	17
17	16	16	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	16	16	0	18
18	17	17	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	17	17	17	0

Оскільки  $S_{1,9} = 18$ , то дугу (1,9) розбиваємо на дві нові (1,18) та (18,9). З табл. 3 знаходимо  $S_{1,18} = 17$  і  $S_{18,9} = 13$ . Ці значення вказують на те, що кожна з дуг (1,18) та (18,9) розбиваються на дві (1,18) = (1,17) + (17,18) і (18,9) = (18,13) + (13,9). Аналізуємо  $S_{1,17} = 16$ ,  $S_{17,18} = 18$  (остаточна дуга),  $S_{18,13} = 13$  (остаточна дуга),  $S_{13,9} = 12$ . Розбиття потребують дуги (1,17) на (1,16) і (16,17) та (13,9) = (13,12) + (12,9). Продовжуємо аналіз  $S_{1,16} = 15$ ,  $S_{16,17} = 17$  (остаточна дуга),  $S_{13,12} = 12$  (остаточна дуга),  $S_{12,9} = 9$  (остаточна дуга). Дуга (1,16) = (1,15) + (15,16).  $S_{1,15} = 2$  і  $S_{15,16} = 16$  (остаточна дуга). (1,15) = (1,2) + (2,15).  $S_{1,2} = 2$  (остаточна дуга) та  $S_{2,15} = 15$  (остаточна дуга).

Складаючи у порядок проходження вершин, отримуємо такий оптимальний маршрут руху (1,9) = (1,2) + (2,15) + (15,16) + (16,17) + (17,18) + (18,13) + (13,12) + (12,9). На графі маршрут відповідає таким вузловим точкам  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 18 \rightarrow 13 \rightarrow 12 \rightarrow 9$ .

Цей приклад є результатом виконання програми аналізу оптимального маршруту між двома довільними вершинами графа розробленої автором у C++.

Аналізуючи вузлові точки, робимо висновок, що при переміщенні від вершини 1 (РЕМ) до 9 (трансформаторна підстанція) ми проходимо ще дві трансформаторні підстанції 15 та 18. Плановий час на технічне обслуговування (ТО) цих об'єктів становить 2 год. Підсумовуючи час на ТО трьох об'єктів 15, 18, 9 та час переїзду (53 хв  $\approx$  1 год), отримуємо 7 год. Цей час вкладається в плановий восьмигодинний робочий день. Отже, цей маршрут може слугувати одним із пунктів календарного плану роботи електротехнічної бригади РЕМу із технічного або сервісного обслуговування об'єктів енергетичних систем міста.

### Висновки

Матеріали цієї роботи можуть бути використано у подальшому процесі моделювання плану проведення різних форм роботи електротехнічних та енергетичних служб підприємства, скорочуючи матеріальні затрати. Це у свою чергу призведе до економії коштів та підвищення рентабельності енергетичних систем.

### Список літератури

1. Бартіш М.Я. Дослідження операцій. Частина 2. Алгоритми оптимізації на графах / М.Я. Бартіш, І.М. Дудзяний. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 120 с.
2. 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.
3. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р.М. – М.: МЦНО, 1999. – 960 с.

*Рассмотрен вопрос моделирования плана работы электротехнической службы при проведении технического обслуживания объектов энергетических систем. Определены способы применения информации*

онных технологий при построении графа электротехнических объектов. Проведено программирование расчетов кратчайших расстояний между вершинами графа и описана методика выбора оптимальных маршрутов доступа к электротехническим объектам.

**Моделирование, алгоритм Флойда-Уоршола, граф, оптимальные пути, программирование, информационные технологии.**

*The problem of modeling the plan of electrical service work for the maintenance of energy systems facilities. The ways to use information technology in the construction of the graph of electrical facilities were identified. Programming calculations of the shortest distances between vertices of the graph were produced of the methodology and the selection of optimal routes of the access to electrical installations was describes.*

**Modelling, algorithm of Floyd-Warshall, graph, the optimal ways, programming, information technology.**

УДК 631.371

## **СИСТЕМИ СИНТЕЗУ ЧАСТОТ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

**Ю.М. Федюшко, доктор технічних наук**

**І.І. Сілі, інженер**

**Таврійський державний агротехнологічний університет**

**А.П. Марисюк, старший викладач**

**ВП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут"**

*Проаналізовано основні функціональні параметри систем синтезу частот, надвисокого частотного діапазону рефлектометричних систем дистанційного визначення діелектричних параметрів біологічних об'єктів.*

**Біологічний об'єкт, діелектричні властивості, системи синтезу частот, спектроскопія.**

Для дистанційних рефлектометричних досліджень біологічних об'єктів у вільному просторі переважним є застосування багаточастотної рефлектометричної системи (РС) з швидкою перебудовою частоти задаючого генератора. Найпоширенішим способом зміни вхідної частоти в багаточастотних РС є швидка перебудова частоти малопотужного задаючого генератора надвисоких частот (НВЧ) з подальшим посиленням (якщо це необхідно) сигналів, що генеруються ним, в широкосмуговому підсилювачі потужності [1, 2].

онных технологий при построении графа электротехнических объектов. Проведено программирование расчетов кратчайших расстояний между вершинами графа и описана методика выбора оптимальных маршрутов доступа к электротехническим объектам.

**Моделирование, алгоритм Флойда-Уоршола, граф, оптимальные пути, программирование, информационные технологии.**

*The problem of modeling the plan of electrical service work for the maintenance of energy systems facilities. The ways to use information technology in the construction of the graph of electrical facilities were identified. Programming calculations of the shortest distances between vertices of the graph were produced of the methodology and the selection of optimal routes of the access to electrical installations was describes.*

**Modelling, algorithm of Floyd-Warshall, graph, the optimal ways, programming, information technology.**

УДК 631.371

## **СИСТЕМИ СИНТЕЗУ ЧАСТОТ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

**Ю.М. Федюшко, доктор технічних наук**

**І.І. Сілі, інженер**

**Таврійський державний агротехнологічний університет**

**А.П. Марисюк, старший викладач**

**ВП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут"**

*Проаналізовано основні функціональні параметри систем синтезу частот, надвисокого частотного діапазону рефлектометричних систем дистанційного визначення діелектричних параметрів біологічних об'єктів.*

**Біологічний об'єкт, діелектричні властивості, системи синтезу частот, спектроскопія.**

Для дистанційних рефлектометричних досліджень біологічних об'єктів у вільному просторі переважним є застосування багаточастотної рефлектометричної системи (РС) з швидкою перебудовою частоти задаючого генератора. Найпоширенішим способом зміни вхідної частоти в багаточастотних РС є швидка перебудова частоти малопотужного задаючого генератора надвисоких частот (НВЧ) з подальшим посиленням (якщо це необхідно) сигналів, що генеруються ним, в широкосмуговому підсилювачі потужності [1, 2].

Відомо, що потенційні значення тактико-технічних характеристик (ТТХ) визначаються параметрами зондуючих сигналів і системою їх обробки [2]. При вибраних параметрах сигналу і системи обробки реалізація основних потенційних ТТХ залежить від стабільності параметрів зондуючих сигналів та фазових характеристик, які визначаються сумарним впливом різних причин [4]. Також відомо, що сумарний вплив зміни фази визначається виразом (1), [2]:

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2, \quad (1)$$

де  $\sigma_{\Sigma}$  – дисперсія фази зондуючого сигналу;  $\sigma_1$  – дисперсія фази в приймально-передавальному тракті;  $\sigma_2$  – дисперсія фази за рахунок зміни положення РС;  $\sigma_3$  – дисперсія фази за рахунок розповсюдження сигналу;  $\sigma_4$  – дисперсія фази при віддзеркаленні сигналу від об'єктів;  $\sigma_5$  – дисперсія фази в системі обробки.

Вказані причини зміни фази призводять до зміни вихідного сигналу і зрештою погіршують потенційні характеристики РС. Для діелектричної спектроскопії при ближньопольному зондуванні біооб'єктів доданки,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  дуже малі і ними можна знехтувати.

Відомо, що основними характеристиками рефлектометра для діелектричної спектроскопії біооб'єктів у вільному просторі є розподільна здатність і точність вимірювань, яка забезпечується в основному за рахунок високої чистоти спектра вихідного сигналу рефлектометра.

При ідеальній стабільності цього тракту відсутні випадкові зміни прийнятого сигналу, які обумовлені флуктуаціями амплітуди і фази зондуючого сигналу, а також відбитого сигналу в результаті його проходження через приймальний пристрій.

**Мета досліджень** – розробка основних функціональних параметрів систем синтезу частот, надвисокого частотного діапазону рефлектометричних систем дистанційного визначення діелектричних параметрів біологічних об'єктів, обґрунтування та визначення основних ТТХ генераторів частоти, які б достатньо забезпечили роботу систем у широкому частотному діапазоні.

**Матеріали та методика досліджень.** Короткочасна стабільність частоти збудника, у тому числі й синтезатора, визначається сумарною дією детермінованих і флуктуаційних збурень у спектрі вихідного сигналу, на відміну від ідеального синтезатора, спектр вихідного коливання якого містить тільки одну корисну дискретну спектральну лінію.

Якщо спектр перешкоди вихідного коливання синтезатора є не тільки суцільним, але і містить  $n$  дискретних спектральних ліній, і якщо всі компоненти перешкоди взаємно некорельовані, то чистота спектра реального синтезатора характеризується виразом (2):

$$D = \frac{P_n}{P_C} = \frac{P_{nu} + \sum_{K=1}^n P_{ng}}{P_C} = \frac{P_{nu}}{P_C} + \sum_{K=1}^n \frac{P_{ng}}{P_C}, \quad (2)$$

де  $P_{nw}$  – перешкода, що має шумовий спектр;  $P_{ng}$  – перешкода, що має тільки одну дискретну лінію.

Ґрунтуючись на результатах, можна зробити висновок про те, що для отримання високої роздільної здатності рефлектометра  $\leq 1\%$  необхідно, щоб дискретні компоненти в спектрі вихідного сигналу синтезатора були пригнічені до рівня власних фазових шумів синтезатора, тобто до 160 дБ.

Враховуючи, що для роботи РС в сантиметровому і міліметровому діапазонах, задана швидкодія і висока чистота спектра забезпечується застосуванням синтезаторів частоти, проведемо аналіз існуючих методів побудови систем синтезу частот (ССЧ), надвисокого частотного (НВЧ) діапазону з метою використання їх як збудників – гетеродинів рефлектометрів для дослідження біооб'єктів у вільному просторі.

Основними вимогами, що висувуються до ССЧ рефлектометра для діелектричної спектроскопії, є забезпечення достатньо швидкої перебудови з однієї робочої частоти на іншу в межах заданого діапазону частот і висока спектральна чистота вихідного сигналу при необхідному для зондування у вільному просторі рівні потужності.

**Результати досліджень.** Найповніше задовільнення вимог щодо основних характеристик ССЧ, в сантиметровому і тим більше в міліметровому діапазонах хвиль, можна отримати шляхом непрямого методу синтезу на основі аналогових і цифрових систем фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Це викликано тією обставиною, що прямий метод синтезу не дозволяє отримати високу спектральну чистоту вихідного сигналу, оскільки множення та інші нелінійні перетворення частоти опорних генераторів в області міліметрового діапазону призводить до неприпустимого рівня флуктуаційних і дискретних побічних складових у спектрі вихідного сигналу.

Власне синтезатор частоти працює в діапазоні 7,2...7,4 ГГц і виконаний на основі цифрової ФАПЧ. За рахунок застосування в НВЧ підстроюваному автогенераторі високодобротного резонатора ( $Q \geq 2,3 \cdot 10^4$ ) з титанату барія, дасть можливість отримати спектральну щільність потужності фазових шумів - 130 дБ/Гц на частоті 1 кГц від вхідної. Проте перенесення частоти такого синтезатора в область 93 ГГц і вище за допомогою діодного помножувача збільшує рівень потужності фазових шумів до 75 дБ/Гц на частоті 1 кГц і до - 105 дБ/Гц - на 100 кГц від вхідної. Тобто подальше множення частоти ще більше погіршує спектральні характеристики вихідного сигналу.

Застосування прямого методу синтезу в чистому вигляді навіть у сантиметровому діапазоні хвиль дає неприпустимий рівень дискретних побічних складових. Множення частоти такого сигналу в міліметровому діапазоні хвиль призведе до неприпустимого їх рівня, оскільки в процесі множення їх рівень зростає з приростами 6 дБ на октаву.

Такі ж недоліки має і метод розширення діапазону частот синтезатора, в якому для цієї мети на виході синтезатора включають декілька по-

множувачів із смуговими фільтрами і фільтром низьких частот, які застосовуються для придушення гармонік частоти вищих порядків.

Розробка і застосування ССЧ з множенням пояснюється перш за все можливістю використання вже існуючих синтезаторів дециметрового і сантиметрового діапазонів на необхідному відрізку міліметрового діапазону. Проте отримувані при цьому спектральні характеристики вихідних сигналів не задовольняють вимогам багатьох випадків застосування.

Найпростішим способом перенесення частоти існуючих синтезаторів у міліметровий діапазон хвиль з одночасним отриманням необхідних спектральних характеристик є застосування систем ФАПЧ як активних фільтрів при множенні частоти синтезатора.

Для цієї мети використовується промисловий синтезатор Ч6-31 (1Гц - 50 МГц) і 4 кільця системи ФАПЧ, за допомогою яких вихідна частота синтезатора множиться до метрового, трьохсантиметрового, чотирьохміліметрового і субміліметрового діапазонів хвиль. При цьому перше кільце використовується як вузькосмуговий фільтр, який дозволяє подавити побічні дискретні складові в спектрі сигналу синтезатора Ч6-31.

Основним недоліком такої системи формування сітки частот є складність і відносно вузький діапазон перебудови вихідної частоти.

Із серійних зарубіжних зразків вимірювальних приладів, які випускаються нині є синтезатори НВЧ діапазону [3]. Необхідно відзначити функціональний генератор 8375 фірм Agilent Technologies, котрий побудований на базі цифрового синтезатора частоти з системою ФАПЧ, що забезпечує високу стабільність формованих сигналів. Генератори призначені для формування сигналів у діапазоні від 10 МГц до 20 ГГц з кроком 1 Гц. Рівень гармонік у діапазоні 10 МГц...1,5 ГГц не більше 30 дБ, а в діапазоні 1,5...20 ГГц - 45 дБ.

### **Висновки**

За результатами досліджень, пов'язаних з розробкою ССЧ міліметрового діапазону, можна зробити такі висновки:

- прямий метод синтезу сітки частот не може бути застосований у міліметровому діапазоні радіохвиль, оскільки він не дозволяє забезпечити високі вимоги щодо спектрально-флюктуаційних характеристик;

- застосування багатокільцевих аналогових і цифрових систем ФАПЧ у синтезаторах дозволяє отримати сітку частот практично в будь-якому діапазоні радіохвиль з високими спектрально-флюктуаційними, енергетичними та іншими характеристиками, що дозволить реалізувати вимоги, які висуваються до збудників рефлектометричних систем дистанційного дослідження діелектричної проникності біооб'єктів у вільному просторі.

Відсутність вирішення вищезгаданих завдань стримує вирішення питань з реалізації необхідних показників якості збудника рефлектометричних систем для дистанційного вимірювання діелектричної проникності біооб'єктів.

### **Список літератури**

1. Дулевич В. Е. Теоретические основы радиолокации / В. Е. Дулевич. –М.: Сов. радио, 1978. – 608 с.

2. Кочемасов В. Н. Формирование сигналов с линейной частотной модуляцией / В. Н. Кочемасов, Л. А. Белов . –М.: Радио и связь, 1983. – 190 с.
3. Пат. 403/19/06 США. Frequency Synthesizer extending method and apparatus USA Secretary of the Army / Rost Gustaf, Bertey-Thowes A. № 924640. 328//8.
4. Федюшко Ю.М. Аналіз характеристик рефлектометричних систем для дистанційного вимірювання діелектричних параметрів біоб'єктів / Ю.М. Федюшко, І.В. Борохов // Науковий вісник Львівського НУВМБ ім. С.З. Гжицького. – 2011. – Т. 13, ч. 4. – С. 139 – 143.

*Проанализированы основные функциональные параметры систем синтеза частот, сверхвысокого частотного диапазона рефлектометрических систем дистанционного определения диэлектрических параметров биологических объектов.*

**Биологический объект, диэлектрические свойства, системы синтеза частот, спектроскопия.**

*The article is devoted the analysis of basic functional parameters of the systems of synthesis of frequencies, sverkhvysokogo frequency range of the reflektometric systems of the controlled from distance determination of dielectric parameters of biological objects.*

**Biological object, dielectric properties, systems of synthesis of frequencies, spectroscopy.**

УДК 621.384.4:581.141

## **СТИМУЛЯЦІЯ РОСТУ ПРОРОСТКІВ НАСІННЯ ОГІРКА ЗА ДІЇ КОМБІНОВАНОГО ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

**Л.С. Червінський, доктор технічних наук  
О.І. Романенко, аспірант\***

*Досліджено вплив оптичного випромінювання на параметри росту проростків насіння огірка. Виявлено, що за дії комбінованого оптичного випромінювання для різного часу обробки зростають морфометричні параметри досліджуваних проростків насіння.*

**Ультрафіолетове опромінення, інфрачервоне опромінення, насіння, посівні якості, режим обробки.**

Особливості росту та розвитку рослин передбачають використання сучасних технологій обробки насіннєвого матеріалу для підвищення врожайності [6]. До цих технологій належать стимуляція проростання насіння за дії регуляторів росту, а також за дії певних фізичних чинників, зокрема обробка ультрафіолетовим, інфрачервоним та лазерним опроміненням, опромінення електромагнітним полем тощо.

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Л.С. Червінський

© Л.С. Червінський, О.І. Романенко, 2014

2. Кочемасов В. Н. Формирование сигналов с линейной частотной модуляцией / В. Н. Кочемасов, Л. А. Белов. – М.: Радио и связь, 1983. – 190 с.
3. Пат. 403/19/06 США. Frequency Synthesizer extending method and apparatus USA Secretary of the Army / Rost Gustaf, Bertey-Thowes A. № 924640. 328//8.
4. Федюшко Ю.М. Аналіз характеристик рефлектометричних систем для дистанційного вимірювання діелектричних параметрів біоб'єктів / Ю.М. Федюшко, І.В. Борохов // Науковий вісник Львівського НУВМБ ім. С.З. Гжицького. – 2011. – Т. 13, ч. 4. – С. 139 – 143.

*Проанализированы основные функциональные параметры систем синтеза частот, сверхвысокого частотного диапазона рефлектометрических систем дистанционного определения диэлектрических параметров биологических объектов.*

**Биологический объект, диэлектрические свойства, системы синтеза частот, спектроскопия.**

*The article is devoted the analysis of basic functional parameters of the systems of synthesis of frequencies, sverkhvysokogo frequency range of the reflektometric systems of the controlled from distance determination of dielectric parameters of biological objects.*

**Biological object, dielectric properties, systems of synthesis of frequencies, spectroscopy.**

УДК 621.384.4:581.141

## **СТИМУЛЯЦІЯ РОСТУ ПРОРОСТКІВ НАСІННЯ ОГІРКА ЗА ДІЇ КОМБІНОВАНОГО ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

**Л.С. Червінський, доктор технічних наук  
О.І. Романенко, аспірант\***

*Досліджено вплив оптичного випромінювання на параметри росту проростків насіння огірка. Виявлено, що за дії комбінованого оптичного випромінювання для різного часу обробки зростають морфометричні параметри досліджуваних проростків насіння.*

**Ультрафіолетове опромінення, інфрачервоне опромінення, насіння, посівні якості, режим обробки.**

Особливості росту та розвитку рослин передбачають використання сучасних технологій обробки насіннєвого матеріалу для підвищення врожайності [6]. До цих технологій належать стимуляція проростання насіння за дії регуляторів росту, а також за дії певних фізичних чинників, зокрема обробка ультрафіолетовим, інфрачервоним та лазерним опроміненням, опромінення електромагнітним полем тощо.

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Л.С. Червінський

© Л.С. Червінський, О.І. Романенко, 2014

Обробка оптичним випромінюванням вважається однією із екологічно чистих технологій підвищення врожайності сільськогосподарських культур [4,5].

**Мета досліджень** – встановлення експозиції опромінення, напруги на лампі, температури при обробці насіння, які б забезпечували ефективне стимулювання біологічних процесів у насінні (зернових, овочевих, тепличних і т.д.) культур при їх опромінюванні інфрачервоним та ультрафіолетовим випромінюванням лампи ДРТ-400.

**Матеріали та методика досліджень.** Для визначення зазначених параметрів (напруги лампи ДРТ, температури обробки насіння та експозиції) було проведено багатофакторний експеримент, де як відгук насіння на комбіноване оптичне випромінювання було взято проростання насіння.

Для аналізу взято усереднені зразки насіння, відібрані за ГОСТ 12036-85 вологістю 12 %. З опроміненого насіння виділялись навіски по 20 г у кожній. Пророщування насіння проводили в чашках Петрі на фільтрувальному папері, зволоженому водою, при температурі  $t = 28 \text{ }^\circ\text{C}$  згідно з ГОСТ 12038-84 „Семена сельскохозяйственных культур. Метод определения всхожести“. Кожну добу проводили перерахунок пророслого насіння в процентах відносно загальної кількості насіння в навіску.

**Результати досліджень.** Для отримання залежності, яка пов'язує значення функції відгуку з вхідними факторами (за наявності аддитивної перешкоди випадкового характеру), використано повнофакторне планування другого порядку. Значення факторів та їх інтервали варіювання наведені в табл. 1.

З використанням стандартної методики побудови планів другого порядку [1,2] побудовані матриці планування експерименту, розрахунку коефіцієнтів регресії, визначення адекватності та результатів обробки даних, які наведено нижче.

### 1. Значення факторів в експерименті

Інтервал варіювання та рівень факторів	Напруга на лампі, В	Температура насіння, $^\circ\text{C}$	Експозиція, хв
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Нульовий рівень $X_i=0$	225	38	3
Інтервал варіювання – $\lambda_i$	6	20	2
Верхній рівень – $X_i=+1$	231	58	5
Нижній рівень – $X_i=-1$	219	18	1

Після проведення вимірювань та розрахунків було отримано рівняння регресії:

$$Y = 72,2 + 1,6 X_1 - 3,1 X_2 + 3,22 X_3 - 1,6 X_1 X_2 + 3,2 X_1 X_3 - 1,6 X_2 X_3 - 1,6 X_1^2 + 3,2 X_2^2 + 4 X_3^2, \quad (1)$$

де  $Y$  – вихідний параметр, що характеризує проростання насіння;  $X_1$  – напруга на лампі, В;  $X_2$  – температура насіння, °С;  $X_3$  – експозиція, хв.

Перевірка значимості коефіцієнтів регресії проводилась при рівні значимості  $\alpha=0,01$  за критерієм Стьюдента [2]. Всі коефіцієнти в рівнянні (1) виявились значимими.

На підставі перевірки даних рівняння на адекватність за критерієм Фішера [2] зроблено висновок, що рівняння описує реальний процес і відповідно дозволяє оцінити характер впливу кожного фактора на флуктуацію відгуку.

Для знаходження оптимальних точок розглянуто систему рівнянь, отриманих прирівнюванням до нуля значень компонентів градієнта, отриманих з виразу [2]:

$$\frac{\partial y}{\partial X_i} = 2b_{ii}X_i + \sum_{j=1}^n b_{ij}X_j = 0, \quad (2)$$

де  $X_i, X_j$  – кодоване значення фактора, за яким береться похідна, і взаємодіючого з ним фактора, відповідно;  $b_i, b_{ij}, b_{ji}$  – коефіцієнти рівняння регресії.

Для виразу (1) отримано таку систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 1,6 - 1,6x_2 + 3,2x_3 - 3,2x_1 = 0; \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 3,1 - 1,6x_1 + 1,6x_3 + 6,4x_2 = 0; \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} = 3,22 + 3,2x_1 - 1,6x_2 + 8x_3 = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Для системи рівнянь (3) були отримані значення факторів в оптимальній точці:  $x_1=-0,016$ ;  $x_2=0,401$ ;  $x_3=-0,315$ , що відповідає таким значенням натуральних параметрів: напруга на лампі – 224 В; температура насіння – 46 °С; експозиція – 2,5 хв.

Результати даних обробки насіння сорту „Конкурент” наведені на рис. 1, а сорту „Ніжинський 12” на рис. 2.

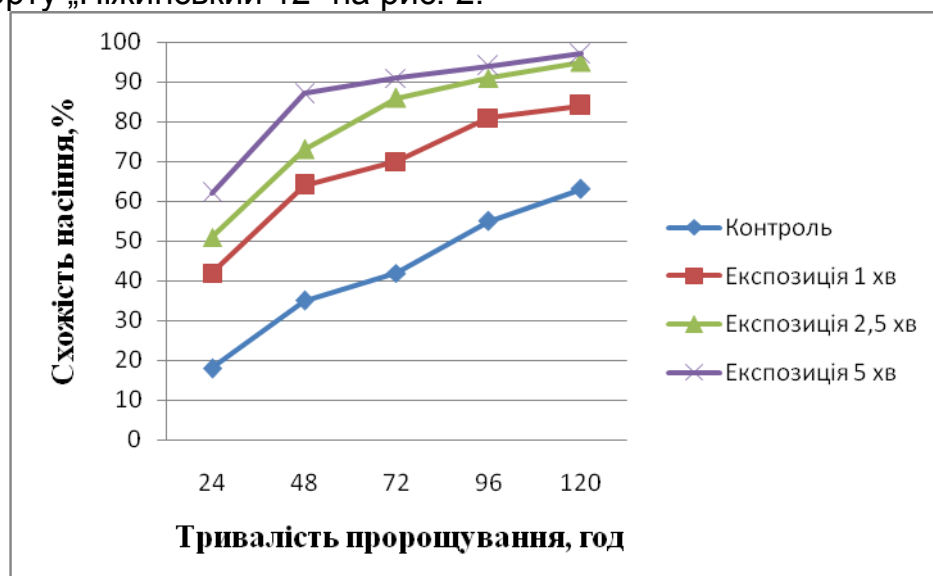
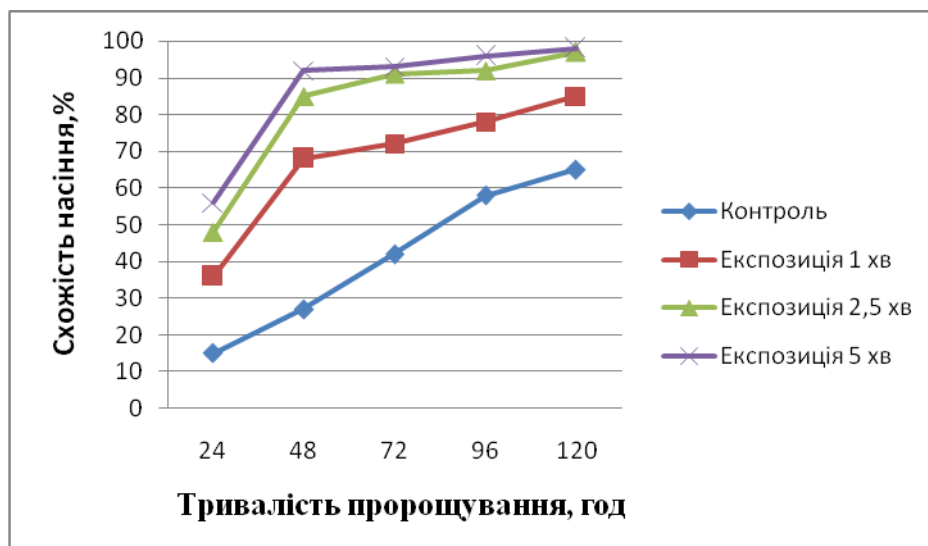


Рис. 1. Результати обробки досліджень схожості насіння огірка сорту „Конкурент” після обробки оптичним випромінюванням

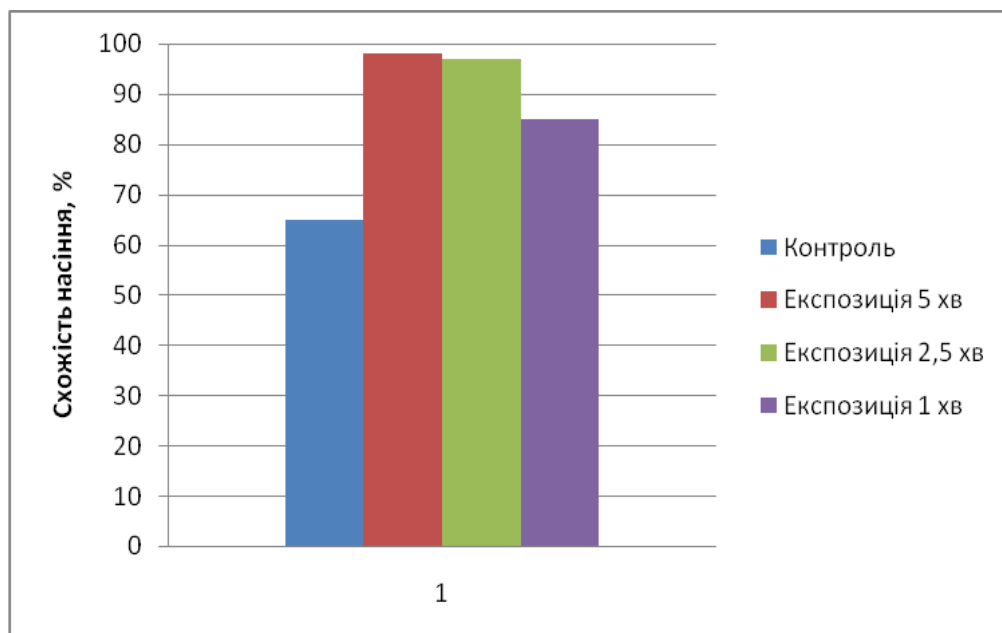


**Рис. 2. Результати обробки досліджень схожості насіння огірка сорту „Ніжинський 12” після обробки оптичним випромінюванням**

Дослідження польової схожості насіння сільськогосподарських культур пов'язано з тим, що комбіноване оптичне випромінювання впливає на життєдіяльність насіння, розвиток з них рослин та врожайність.

Для проведення польових дослідів насіння опромінювалось комбінованим інфрачервоним та ультрафіолетовим оптичним випромінюванням лампи ДРТ напругою 219 В, 224 В, 230 В при температурі 46 °С і експозиції 1 хв, 2,5 хв і 5 хв.

Польові досліді були проведені в господарстві „Комбінат Тепличний” Броварського району Київської області.



**Рис. 3. Графік схожості насіння після впливу на них випромінюванням лампи ДРТ**

Насіння оброблялось комбінованим оптичним випромінюванням за добу до висіву та висівалось на ділянці площею 1 м<sup>2</sup>, безпосередньо в теплиці (повторюваність чотирикратна). Густина посіву вибиралась технологічна з розрахунку 1,4 млн шт. насінин на гектар. Для контролю висівалось також насіння, необроблене комбінованим оптичним випромінюванням. Контроль схожості насіння проводили за статистичним методом [3].

Результати схожості та розвитку насіння польового дослідження наведено на рис. 3.

З отриманих результатів випливає, що схожість насіння оброблених випромінюванням лампи ДРТ з напругою 224 В, температурою насіння 46 °С і експозицією 5 хв складає 98 %, в контролі – 65 %. При експозиції 2,5 хв польова схожість змінилась лише на 1 % порівняно з максимальним значенням. Зниження експозиції до 1 хв призводить до зниження схожості до 85 %.

Схожість насіння, опромінених лампою ДРТ напругою 219 і 230 В, відрізнялось від контролю всього на 5...6 %.

Результати польових досліджень наведено в табл. 2.

## 2. Польові результати передпосівної обробки насіння елетромагнітним випромінюванням

Місце проведення	Назва культури	Варіант	Площа посіву, м <sup>2</sup>	Рік посіву	Лабораторні дослідження			Польові результати				Приріст урожаю	
					Активність накілчення, %	Енергія проростання, %	Лабораторна схожість, %	Маса опроміненого насіння, г	Кількість днів відлежування	Польова схожість, %	Урожай, ц/га	ц/га	%
Комбінат Тепличний	Огірки	К	10/10	2011	55	82	84	30,0	2,0	68	24,0	9,6	20,0
		О			70	93	97			92	33,6		
Зриварського району Київської області	Огірки	НСР	10/10	2012	58	81	80	30,2	2,0	77	25,2	8,1	22,0
		О			76	90	95			93	33,3		
Те ж саме	Огірки	НСР	10/10	2013	59	80	78	30,1	3,0	67	27,8	12,6	25,0
		О			77	91	96			91	40,4		
		НСР										2,14	

### Висновки

Результати обробки результатів оптичної стимуляції схожості насіння тепличних культур на прикладі насіння огірка підтвердили ефектив-

ність комбінованої дії ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання лампи ДРТ-400.

Полеві дослідження показали, що передпосівна обробка насіння тепличних культур оптичним випромінюванням дозволяє підвищити врожайність на 20 – 25 %.

### Список літератури

1. Богданов Н.И. Расчёты в планировании экспериментов / Н.И. Богданов – Л.: Изд.-во ЛТА, 1978. – 80 с.
2. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – М.: Техника, 1975. – 168 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов – М.: Агропромиздат, 1985. – 60 с.
4. Дубров А.П. Действие ультрафиолетовой радиации на растения / А.П. Дубров. – М.: Изд-во АН СССР, 1963.– 124 с.
5. Леман В.М. Курс светокультуры растений: учеб. пособие для с.-х. вузов. / В.М. Леман. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Высш. шк., 1976. – 271 с.
6. Семеноводство и семеноведение овощной и бахчевой культуры. / [под ред. д-ра с.-х. наук, академика УААН Т.К. Горовой]. – К.: Аграрна наука, 2003 – 328 с.

*Исследовано влияние оптического излучения на параметры роста проростков семян огурца. Определено, что при действии комбинированного оптического облучения повышаются морфометрические параметры исследуемых проростков семян.*

***Ультрафиолетовое облучение, инфракрасное облучение, семена, посевные качества, режим обработки.***

*The influence of optical radiation on the growth parameters of seedlings of cucumber seeds. Determined that for the actions of the combined optical irradiation increased morphometric parameters studied seedlings seeds.*

***Ultraviolet radiation, infrared radiation, seeds, crop quality, processing mode.***

УДК 631.22

## ЕЛЕКТРО - СОНЯЧНА СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТЕПЛИЦЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ВАКУУМНИХ ГЕЛІОКОЛЕКТОРІВ

***В.О. Лазоренко, кандидат технічних наук***

*Викладено результати розробки електро-сонячної акумуляційної системи теплопостачання теплиць з використанням вакуумних геліо-*

---

© В.О. Лазоренко, 2014

ність комбінованої дії ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання лампи ДРТ-400.

Полеві дослідження показали, що передпосівна обробка насіння тепличних культур оптичним випромінюванням дозволяє підвищити врожайність на 20 – 25 %.

### Список літератури

1. Богданов Н.И. Расчёты в планировании экспериментов / Н.И. Богданов – Л.: Изд.-во ЛТА, 1978. – 80 с.
2. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – М.: Техника, 1975. – 168 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов – М.: Агропромиздат, 1985. – 60 с.
4. Дубров А.П. Действие ультрафиолетовой радиации на растения / А.П. Дубров. – М.: Изд-во АН СССР, 1963.– 124 с.
5. Леман В.М. Курс светокультуры растений: учеб. пособие для с.-х. вузов. / В.М. Леман. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Высш. шк., 1976. – 271 с.
6. Семеноводство и семеноведение овощной и бахчевой культуры. / [под ред. д-ра с.-х. наук, академика УААН Т.К. Горовой]. – К.: Аграрна наука, 2003 – 328 с.

*Исследовано влияние оптического излучения на параметры роста проростков семян огурца. Определено, что при действии комбинированного оптического облучения повышаются морфометрические параметры исследуемых проростков семян.*

***Ультрафиолетовое облучение, инфракрасное облучение, семена, посевные качества, режим обработки.***

*The influence of optical radiation on the growth parameters of seedlings of cucumber seeds. Determined that for the actions of the combined optical irradiation increased morphometric parameters studied seedlings seeds.*

***Ultraviolet radiation, infrared radiation, seeds, crop quality, processing mode.***

УДК 631.22

## ЕЛЕКТРО - СОНЯЧНА СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТЕПЛИЦЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ВАКУУМНИХ ГЕЛІОКОЛЕКТОРІВ

***В.О. Лазоренко, кандидат технічних наук***

*Викладено результати розробки електро-сонячної акумуляційної системи теплопостачання теплиць з використанням вакуумних геліо-*

*колекторів та результати дослідження її енергоефективності. Визначено коефіцієнт заміщення теплового навантаження.*

***Теплиця, електро-сонячна акумуляційна система, вакуумний геліоколектор, теплопостачання, енергоефективність, коефіцієнт заміщення теплового навантаження.***

Теплиці є одними з найбільших споживачів теплової енергії, тому доцільно зосередити зусилля на створенні енергоефективних систем теплопостачання, які не вимагають великих витрат первинних паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) і разом з тим можуть забезпечити оптимальний мікроклімат і в холодну пору року.

Формування в об'ємі теплиці і шарі ґрунту температурних, вологісних і газових полів залежить від конструктивних рішень систем інженерного забезпечення мікроклімату. Щоб отримати високі врожаї овочів необхідно підтримувати температуру 18–26 °С на глибині 0,2–0,3 м, тобто в зоні розташування коренів [3]. Забезпечення відповідного температурного режиму в ґрунті дозволяє отримувати на 25–30 % більше ранніх овочів порівняно з урожаєм, зібраним у теплиці без підґрунтового обігріву.

В умовах стрімкого зростання цін на паливні енергоресурси та дефіциту традиційних джерел енергії актуальність пошуків шляхів вдосконалення традиційних систем теплопостачання та з використанням поновлюваних джерел енергії – сонця, вітру, очевидна. Зокрема доцільно використовувати сонячну енергію для нагрівання води за допомогою сонячних колекторів для технологічних і побутових потреб, а також для нагрівання теплоносія, що циркулює в системі водяного опалення, та безпосередньо середовища в спорудах захищеного ґрунту для вирощування різних культур.

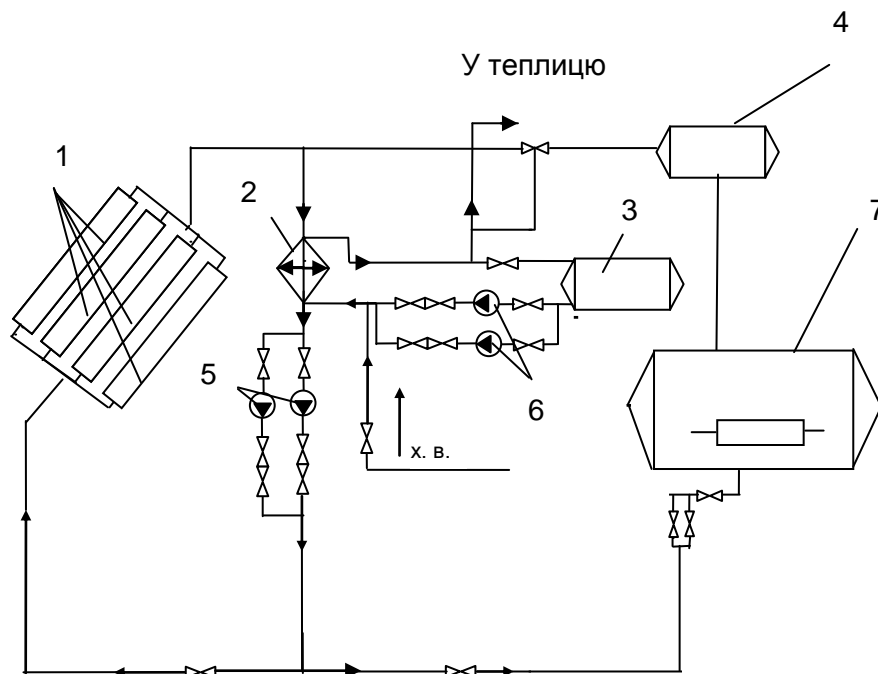
**Мета досліджень** – розробка електро-сонячної акумуляційної системи теплопостачання теплиць з використанням вакуумних геліоколекторів та дослідження її енергоефективності.

**Методика та матеріали досліджень.** Згідно з останніми метеорологічними спостереженнями в Україні протягом року буває, залежно від регіону, 100 – 200 сонячних днів. У результаті обробки статистичних метеорологічних даних за десять років щодо надходження сонячної радіації визначено питомі енергетичні показники з надходження сонячної енергії та розподіл енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для кожної територіальної зони України [1, 2].

Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що надходить на 1 м<sup>2</sup> поверхні, на території України знаходиться в межах: від 1000 кВт·год/м<sup>2</sup> в північній частині України до 1400 кВт·год/м<sup>2</sup> в АР Крим. Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні 1235 кВт·год/м<sup>2</sup>, є набагато вищим ніж, наприклад, у Німеччині (1000 кВт·год/м<sup>2</sup>) та Польщі (1080 кВт·год/м<sup>2</sup>). Отже, ми маємо хороші можливості для ефективного використання сонячної енергії на території України.

**Розробка електро – сонячної акумуляційної системи теплопостачання теплиць.** На основі порівняння технічних та енергетичних характеристик різних типів сонячних колекторів було встановлено, що пе-

рспективнішими для використання в системах тепlopостачання теплиць, інших сільськогосподарських об'єктів є вакуумні сонячні колектори з вбудованим теплообмінником для прямої передачі теплоти воді, яка циркулює в системі обігріву теплиць. Встановлені вакуумні сонячні колектори поглинають до 97 % сонячної енергії при мінімальному рівні рефлексії (відбивання) 3–7 %. Такі колектори використані при розробці даної системи тепlopостачання теплиці, показаної на рисунку. Верхні частини внутрішніх трубок вакуумного геліоколектора розміщені безпосередньо в розподільному колекторі системи водяного опалення і виконують функції конденсатора. Таким чином у системі тепlopостачання використовується двоконтурна (бівалентна) схема: традиційна водяна система обігріву, яка живиться від електро-водонагрівача (або електричного котла) і сонячний обігрів вакуумними геліоколекторами, які працюють як термосифони практично без підвищення тиску в магістралі.



**Електро - сонячна акумуляційна системи тепlopостачання теплиць:**  
 1– геліоприймачі з вбудованим теплообмінником; 2 – пластинчастий теплообмінник; 3 – бак-акумулятор контуру споживання;  
 4 – бак-акумулятор контуру нагромадження; 5 – насоси контуру нагромадження; 6 – насоси контуру споживання; 7 –електроводонагрівач

За такою двоконтурною схемою працює енергозберігаюча теплиця, наведена в роботі [4] і використана для підвищення ефективності запропонованої електро - сонячної акумуляційної системи тепlopостачання теплиць.

Робота системи. Теплоносій (вода) нагрівається у вакуумних сонячних колекторах 1 і подається в теплообмінник пластинчастого типу 2, в якому підігрівається вода, що надходить в бак–акумулятор контуру споживання 3. Охолоджений теплоносій насосами 5 спрямовується у вбудо-

ваний теплообмінник сонячних колекторів, а при зниженні температури в теплиці і в навколишньому середовищі – в електроводонагрівач 7. Нагріта вода із бака контуру споживання насосами 6 через теплообмінник 2, де догрівається до необхідних параметрів, подається в бак контуру нагромадження 4, а також у систему тепlopостачання теплиці. У нічний час та при зниженні температури теплоносії догрівається в контурі дублера – електроводонагрівача 7.

**Результати досліджень.** Сонячна енергія використовується також для безпосереднього підігрівання середовища теплиці за рахунок проходження інфрачервоного випромінювання через прозорі світлопроникні огорожувальні конструкції та відбивання його всередину теплиці від внутрішньої поверхні теплозахисних екранів для підігрівання води, що надходить у трубопроводу системи водяного опалення, а також на технологічні та побутові потреби.

Для зменшення втрат теплоти через огорожувальні конструкції встановлені теплозахисні екрани. За рахунок зростання їх термічного опору від  $0,25(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{Вт}$  до  $2,20(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{Вт}$ , та відбивання теплового випромінювання сонця від ґрунту, шатра та від внутрішньої поверхні теплозахисних екранів втрати теплоти зменшуються на  $136 - 195 \text{ Вт}/\text{m}^2$ .

Повністю забезпечити теплицю теплотою сонячні системи тепlopостачання здатні з квітня до жовтня. У холодний період року при цілорічній експлуатації – частково, інша частина теплоти надходить від електричного водонагрівача, що забезпечує роботу системи тепlopостачання теплиці.

Одним із варіантів організації впровадження електро – сонячного тепло-постачання є використання електроенергії не в пікові години, а в години пільгової оплати в тарифах (які для Києва такі: «пікова» зона – 0,65 грн за 1 кВт, «напівпікова» зона – 0,372 грн, «нічна» зона – 0,09, грн).

### **Висновки**

Розроблена електро – сонячна акумуляційна системи тепlopостачання теплиць з використанням сонячної енергії та традиційного електрообігріву.

При встановленні теплозахисних екранів втрати теплоти через огорожувальні конструкції за рахунок зростання їх термічного опору від  $0,25(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{Вт}$  до  $2,20(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{Вт}$ , зменшуються на  $136 - 195 \text{ Вт}/\text{m}^2$ .

Досліджено енергетичну ефективність роботи системи тепlopостачання теплиці: визначено коефіцієнт заміщення теплового навантаження, який при поглинанні вакуумними колекторами 90 % випромінювальної енергії сонця та мінімальному рівні рефлексії 3 – 7 % становить  $0,46 - 0,58$  залежно від зони розташування теплиці.

### **Список літератури**

1. Аvezов Р. Р. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. / Р. Р.Аvezов, А.Ю. Орлов. –Ташкент: Фан, 1988. – 288 с.
2. Волеваха М. М. Енергетичні ресурси клімату України / М. М.Волеваха, М.І. Гойса. – К.: Наук. думка, 1967. –132 с.
3. Корчемний М.О. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / М.О.Корчемний, В.М. Федорейко, В.А. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.

4. Пат.№ 70793 Україна, МПК А01G 9/00. Теплиця енергозберігаюча /Лазоренко В.О.; власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. –№ у 2011 14538; заявл. 7.12..2011; опубл. 25.06.2012, Бюл.№12.

*Изложены результаты разработки электро-солнечной аккумуляционной системы теплоснабжения теплиц с использованием вакуумных гелиоколлекторов и результаты исследований ее энергоэффективности. Определен коэффициент замещения тепловой нагрузки.*

**Теплица, электро-солнечная аккумуляционная система, вакуумный гелиоколлектор, теплоснабжение, энергоэффективность, коэффициент замещения тепловой нагрузки.**

*Results of development of the electric- sunnily accumulation system of hotbrining of hothouses with using vacuum geliocollector and results of research of their energy efficiency are expounded. Coefficient of substitution warm loading is certain.*

**Hothouse, vacuum geliocollector, hotbrining, electric- sunnily accumulation system, energy efficiency, coefficient of substitution warm loading.**

УДК 621.3.066.5/6:636

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ З НОВИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ КОНТАКТНИМИ МАТЕРІАЛАМИ**

**В.В. Коробський, кандидат технічних наук  
О.В. Савченко, студент магістратури**

*Наведено завдання, розроблено програму для комплексного дослідження електромагнітних пускачів з новими композиційними контактними матеріалами та наведено методики проведення експериментальних досліджень для забезпечення підвищення ефективності та експлуатаційної надійності електромагнітних пускачів сільськогосподарських електроустановок.*

**Електромагнітний пускач, експериментальні дослідження, контактний матеріал, показник надійності, контактний натиск, перехідний опір, електричне зношування. стійкість проти зварювання.**

У процесі експлуатації електромагнітних пускачів у комутуючих пристроях, інших елементах конструкції відбуваються незворотні процеси зміни фізико-хімічних, фізико-механічних та діелектричних властивостей електроізоляційних матеріалів, руйнування втомленості контактних та

4. Пат.№ 70793 Україна, МПК А01G 9/00. Теплиця енергозберігаюча /Лазоренко В.О.; власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. –№ у 2011 14538; заявл. 7.12..2011; опубл. 25.06.2012, Бюл.№12.

*Изложены результаты разработки электро-солнечной аккумуляционной системы теплоснабжения теплиц с использованием вакуумных гелиоколлекторов и результаты исследований ее энергоэффективности. Определен коэффициент замещения тепловой нагрузки.*

**Теплица, электро-солнечная аккумуляционная система, вакуумный гелиоколлектор, теплоснабжение, энергоэффективность, коэффициент замещения тепловой нагрузки.**

*Results of development of the electric- sunnily accumulation system of hotbrining of hothouses with using vacuum geliocollector and results of research of their energy efficiency are expounded. Coefficient of substitution warm loading is certain.*

**Hothouse, vacuum geliocollector, hotbrining, electric- sunnily accumulation system, energy efficiency, coefficient of substitution warm loading.**

УДК 621.3.066.5/6:636

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ З НОВИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ КОНТАКТНИМИ МАТЕРІАЛАМИ**

**В.В. Коробський, кандидат технічних наук  
О.В. Савченко, студент магістратури**

*Наведено завдання, розроблено програму для комплексного дослідження електромагнітних пускачів з новими композиційними контактними матеріалами та наведено методики проведення експериментальних досліджень для забезпечення підвищення ефективності та експлуатаційної надійності електромагнітних пускачів сільськогосподарських електроустановок.*

**Електромагнітний пускач, експериментальні дослідження, контактний матеріал, показник надійності, контактний натиск, перехідний опір, електричне зношування. стійкість проти зварювання.**

У процесі експлуатації електромагнітних пускачів у комутуючих пристроях, інших елементах конструкції відбуваються незворотні процеси зміни фізико-хімічних, фізико-механічних та діелектричних властивостей електроізоляційних матеріалів, руйнування втомленості контактних та

спрацювання конструкційних матеріалів, які в кінцевому рахунку призводять до відмови електромагнітних пускачів.

Фактичні показники надійності комутаційних апаратів, які експлуатуються в тваринницьких виробничих приміщеннях (особливо такі показники безвідмовності та довговічності як імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ , термін служби  $T_{сл}$ ) не відповідають заданим, нормованим показникам.

Існують різні заходи для забезпечення та підвищення надійності пускачів, які працюють у сільському господарстві, але для їх реалізації потрібні додаткові вкладення коштів і кваліфікована праця обслуговуючого персоналу, що не завжди є в наявності у господарств.

**Мета досліджень** – розробка заходів, реалізація яких забезпечить підвищення ефективності та експлуатаційної надійності електромагнітних пускачів з композиційними контактними матеріалами з гетерогенною структурою на основі міді для сільськогосподарських електроустановок.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1) проаналізувати особливі умови експлуатації пускачів в електроустановках тваринництва та фактори навколишнього середовища, причини несправностей (особливо комутуючих пристроїв) та їх основні експлуатаційні показники надійності;

2) провести аналіз існуючих контактних матеріалів, які застосовуються в електромагнітних пускачах, визначити можливі шляхи економії срібла та провести лабораторні кліматичні випробування на корозійну тривкість альтернативних контактних матеріалів на основі міді;

3) створити математичну модель прогнозування перехідного опору  $R_{пер}$  та електроерозійного зношування контакт-деталей пускачів залежно від факторів навколишнього середовища та кількості комутаційних циклів;

4) розрахувати значення глибини проплавлення, величини електричної ерозії та терміну служби контактів на базі вдосконаленої математичної моделі теплових процесів у комутуючих пристроях електромагнітних пускачів.

Для вирішення наведених завдань потрібно провести комплекс досліджень, основні етапи якого наведені в таблиці. Експериментальні дослідження пускачів фактично починаються з етапу №2.

**Матеріали та методика досліджень.** Дослідження фізико-механічних властивостей контактних матеріалів і експлуатаційні випробування пускачів.

Густина контактного матеріалу визначається методом гідростатичного зважування зразків у дистильованій воді [1, 8]. За кінцеві результати приймається середня величина не менше п'яти зважувань з похибкою, яка не перевищувала 3 %. Формула для визначення густини  $\gamma$ , г/см<sup>3</sup>, матеріалу:

$$\gamma = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \gamma_B, \quad (1)$$

де  $m_1$  – маса контакту, зваженого в повітрі, г;  $m_2$  – уявна маса контакту, зваженого у воді, г;  $\gamma_B$  – густина води, г/см<sup>3</sup>, ( $10^3$  кг/м<sup>3</sup>).

**Основні етапи комплексного дослідження електромагнітних пускачів з новими композиційними контактними матеріалами**

Етапи дослідження	Вид дослідження	Мета дослідження	Основні визначальні параметри
1	Дослідження фактичних умов експлуатації і режимів роботи пускачів	Вивчення умов роботи комутуючого пристрою пускача щодо формування вимог для контактних матеріалів	1.Струмові навантаження і характер навантаження електроустановок. 2.Режими роботи пускачів. 3.Нормовані і фактичні параметри навколишнього середовища
2	Фізико-механічні лабораторні дослідження нових контактних матеріалів	Вивчення впливу фізико-механічних властивостей на показники експлуатаційної надійності	1.Густина. 2.Твердість. 3.Характеристики міцності. 4.Питомий електричний опір. 5.Теплофізичні властивості
3	Випробування створених матеріалів на електроерозійну стійкість	Визначення закономірностей масопереносу та ерозії розривних контактів від виду домішок, величини напруги, струму, кількості комутаційних циклів	1.Електроерозійний знос зразків контактних матеріалів. 2.Контактний опір зразків матеріалів
4	Лабораторні кліматичні випробування розроблених матеріалів	Виявлення найбільш корозійнотривких матеріалів	1.Корозійні втрати. 2.Перехідний опір
5	Вивчення структури утворення, морфології робочих поверхонь контактів	Вивчення впливу домішок, виду формування структури, вивчення поверхні розривних контактів під впливом параметрів дуги комутації	1.Мікроструктура. 2.Рельєф. 3.Спектральний аналіз робочих поверхонь
6	Лабораторні дослідження електромагнітних пускачів ПМЛ в категорії застосування АС-3	Вивчення впливу факторів навколишнього середовища на показники надійності пускача в модельних умовах зовнішнього середовища	1.Перехідний опір контактів. 2.Зносостійкість матеріалів. 3.Перевищення температури контактів і температура електромагнітних котушок. 4.Дослідження на вмикальну і вимикальну здатність пускача
7	Експлуатаційні випробування пускачів з розробленими контактними матеріалами	Визначення експлуатаційних показників надійності пускачів у виробничих умовах	1.Провал контактів. 2.Хід контактів. 3.Контактний натиск. 4.Перехідний опір. 5.Контроль і перевірка електричного опору ізоляції

Зважування контактів проводиться на вагах, які забезпечують точність зважування не менше  $10^{-4}$  г. Повторність зважування становила не менше трьох разів і за кінцевий результат приймається середнє арифметичне значення.

*Твердість (мікротвердість)* фазових складових композиційних спечених матеріалів, яка називається уявною твердістю, визначається методом Вікерса за допомогою приладу ПМТ-3. Дослідження проводяться на трьох зразках кожного виду матеріалу. На кожному зразку здійснюється не менше п'яти замірів [6].

*Міцність* створених композиційних матеріалів визначається випробуванням зразків на розрив на розривній машині РМУ-0,05-1,0 (ГОСТ 7855-84).

*Визначення шорсткості* поверхні контакт-деталей здійснюється за допомогою профілографа-профілометра, моделі 201 (похибка вертикального збільшення – 5%). При цьому реєструється як параметр  $R_a$  (середнє арифметичне відхилення мікронерівностей від середньої лінії профілю), так і виконується записування в збільшеному масштабі мікронерівностей поверхні на електротермічному папері.

*Теплофізичні випробування* матеріалу проводяться згідно з [13, 14], а *випробування на перевищення температури* комутуючого пристрою та інших частин пускачів над температурою навколишнього середовища – безпосередньо на пускачах при проходженні через всі струмоведучі полюси номінального змінного струму в тривалому режимі [2, 3].

Середня об'ємна температура контакт-деталі визначається за допомогою термопари з діаметром електродів  $(1,0 \pm 0,1)$  мм [9]. Вимірювання термо Е.Р.С. проводиться за допомогою мультиметра або вольтметра постійного струму. Випробування проводиться при температурі навколишнього середовища  $(20 \pm 5)$  °С, що дозволяє не вводити поправки впливу температури навколишнього середовища на одержане значення перевищення температури комутуючого пристрою. Довірча границя основної похибки вимірювання температури дорівнює не більше  $\pm 1\%$  при довірчій імовірності  $P=0,95$  [15].

Середнє перевищення температури електромагнітних котушок пускачів визначається резисторним методом – за зміною опору [3]. Перевищення температури котушки  $\Delta\theta$ , °С, над температурою навколишнього середовища обчислюється за формулою:

$$\Delta\theta = \frac{R_2^k - R_1^k}{R_1^k} (k + R_1^k) + \theta_1 - \theta_2, \quad (2)$$

де  $R_2^k$  – електричний опір котушки при температурі  $\theta_2$ , Ом;  $R_1^k$  – електричний опір котушки при температурі  $\theta_1$ , Ом;  $k$  – коефіцієнт, який чисельно дорівнює оберненому значенню температурного коефіцієнта омичного опору матеріалу проводу котушки (для міді  $k=235$ );  $\theta_2$  – температура навколишнього середовища при вимірюванні електричного опору в нагрітому стані

катушки, °С;  $\theta_1$  – температура навколишнього середовища при вимірюванні електричного опору в холодному стані катушки, °С.

*Питомий електричний опір* зразків контактного матеріалу  $\rho$ , Ом·м, визначається за формулою [1]:

$$\rho = \frac{RS}{L}, \quad (3)$$

де  $R$  – загальний опір зразка, Ом;  $S$  – поперечний переріз зразка, мм<sup>2</sup>;  $L$  – довжина зразка, м.

Вимірювання електричного опору зразків проводяться методом вольтметра-амперметра на постійному струмі з використанням вольтметра постійного струму. Похибка при вимірюваннях – не більше 0,5 % [3, 12].

*Провал і хід контактів* пускачів контролюється за допомогою стояка СІІІ (ГОСТ 10197-70) за стандартною методикою з використанням електричного індикатора згідно з ТУ48-І-391(392)-81, ТУ16-91.ИГЕВ.644131.001ТУ, ТУ16-685.020-85. Переміщення траверси вимірюється індикатором лінійних переміщень ІЧ (ГОСТ 577-68), точністю 0,01 мм [3].

*Контактний натиск* контактів-зразків і контакт-деталей пускача перевіряється в увімкненому положенні за допомогою динамометра з ціною поділки 0,245Н [3].

*Надійність контактування* оцінюється за характером зміни перехідного опору.

*Перехідний опір* експериментальних контактних пар визначається методом вольтметра-амперметра [10] з використанням універсального вольтметра В7-35 і амперметра із дзеркальною шкалою Э514 з класом точності 0,5 (ГОСТ 8711-78). Заміри перехідного опору проводяться до і після кожної серії комутаційних циклів при протіканні номінального струму. Для кожної пари проводяться 10 замірів спаду напруги після кожної комутації з витримкою часу в замкнутому стані 10 с. Для пускача спад напруги визначається на кожному полюсі головного кола.

Опір контакту  $\Delta R$ , мОм, розраховується за формулою [5, 10]:

$$\Delta R = \frac{\Delta U}{I}, \quad (4)$$

де  $\Delta U$  – спад напруги на контактному переході, мВ;  $I$  – струм, А.

Похибка при вимірюванні спаду напруги не перевищує 3 %. Допускається похибка виміру перехідного опору контакту в межах  $\pm 10$  % з імовірністю  $P=0,95$ . Розрахунок похибки перехідного опору  $\delta$ , %, проводиться за формулою [5]:

$$\delta = I, I \sqrt{\delta_V^2 + \delta_A^2}, \quad (5)$$

де  $\delta_V$  – похибка вольтметра, %;  $\delta_A$  – похибка амперметра, %.

Випробовування зразків контактних матеріалів та контактів пускачів на *електричне зношування (ерозію)* проводиться з частотою 2400–600 циклів увімкнення-вимкнення на годину, що відповідає технічній документації на серійні і розроблені контактні матеріали та вищеназвані пускачі [11]. Для експе-

риментальних лабораторних випробувань найприйнятнішим є ваговий (масовий) метод визначення зносу [10]. Зразки-контакти і рухомі та нерухомі контакт-деталі до і після кожної комутаційної серії зважуються на вагах з точністю  $10^{-4}$  г. Повторність зважування не менше трьох разів.

Зміна ваги (маси) контакту (рухомого і нерухомого)  $\Delta m$ , г, після кожної серії комутаційних циклів визначається як:

$$\Delta m = m_1 - m_2, \quad (6)$$

де  $m_1$  – маса контакту перед початком комутаційних випробувань, г;  $m_2$  – маса контакту після серії комутаційних випробувань, г.

Абсолютний знос контактів визначається як сума зміни маси рухомого і нерухомого контактів:

$$\Delta m_{\text{абс}} = \Delta m_{\text{рк}} + \Delta m_{\text{нк}}, \quad (7)$$

де  $\Delta m_{\text{рк}}$  – зміна маси рухомого контакту, г;  $\Delta m_{\text{нк}}$  – зміна маси нерухомого контакту, г.

Як критерій зносу приймається зміна маси матеріалу контактів за один комутаційний цикл  $k$ , г/цикл, (коефіцієнт інтенсивності зношування):

$$k = \frac{\Delta m_{\text{абс}}}{n} = \frac{\sum \Delta m_i n_i}{\sum n_i^2}, \quad (8)$$

де  $n$  – кількість комутаційних циклів у серії, цикл.

*Стійкість проти зварювання* контактних матеріалів визначається на спеціальній установці за стандартною методикою. Суть способу полягає в тому, що в комутуючому пристрої при увімкненні моделюється найтипівіший режим зварювання контактів – протікання короткочасного імпульсу зварювального струму при іонізації дуги комутації в процесі замикання та розмикання контактів. При проведенні досліджень регулюються такі вхідні параметри: величина сили струму та тривалість імпульсу зварювального струму, контактний натиск, швидкість руху контактів. Вихідними параметрами дослідження є: мінімальна величина сили зварювального струму  $I_{\text{зв}}$  при імовірності зварювання  $P=0,95$  та зусилля відриву.

Пристрій для досліджень складається з комбінованого джерела зварювального струму, комутуючого пристрою та розривної машин РМУ-2, яка визначає величину зусилля розриву в межах від 1 до 1000 Н з похибкою 3 %.

*Перевірка електроізоляційних властивостей* пускача проводиться при експлуатаційних виробничих випробуваннях шляхом виміру електричного опору ізоляції омметром постійного струму Ф4108-1 при напрузі 500В з похибкою  $\pm 10$  % [3]. Заміри проводяться на початку досліджень і в процесі випробування.

*Випробування на вмикальну і вимикальну здатність* пускачів з новими контактними матеріалами проводяться на лабораторній установці в режимі виняткових комутацій. Випробування на електроерозійну зносостійкість проводяться при номінальному струмі в категорії застосування АС-3 (режим нормальних комутацій).

## Висновки

1. Розроблено завдання для забезпечення підвищення ефективності та експлуатаційної надійності електромагнітних пускачів з композиційними контактними матеріалами з гетерогенною структурою.
2. Визначено етапи комплексного дослідження електромагнітних пускачів, в яких серійні срібломісткі контакт-деталі пропонується замінити новими композиційними контактними матеріалами на основі міді.
3. На основі нормативних документів розроблено методику, що забезпечує проведення експериментального комплексного дослідження електромагнітних пускачів при заміні контактних матеріалів.

## Список літератури

1. Аппараты электрические коммутационные. Контакты на основе серебра. Технические условия: ГОСТ 19725-74. – [Чинний від 01.09.74]. – М.: Изд-во стандартов, 1984 . – 50 с.
2. Аппараты электрические на напряжение до 1000 В. Допустимые температуры нагрева частей аппаратов: ГОСТ 403-73. – [Чинний від 01.01.74]. – М.: Изд-во стандартов, 1973 . – 5 с.
3. Апарати електричні низьковольтні. Методи випробувань: ДСТУ 2993 - 95 (ГОСТ 2933 - 93). – [Чинний від 01.01.96], – К.: Держстандарт України, 1996. – 57 с.
4. Зносостійкість виробів. Тертя, зношування та мащення. Терміни та визначення: ДСТУ 2823-94. – [Чинний від 01.01.96]. – К.: Держстандарт України, 1996. – 33 с.
5. Изделия коммутационные, установочные и соединители электрические. Методы измерения сопротивления контакта и динамической и статической нестабильности переходного сопротивления контакта: ГОСТ 24606.3-82 (СТ СЭВ 3985-83). – [Чинний від 01.01.84]. – М.: Изд-во стандартов, 1982 . – 6 с.
6. Матеріали металеві, спечені, крім твердих сплавів. Визначення уявної твердості матеріалів в основному з рівномірною твердістю у перерізі: ДСТУ 3668-97 (ГОСТ 25698-98) (ISO 4498-1:1990). – [Чинний від 01.07.99]. – К.: Держстандарт України, 1999. – 22 с.
7. Матеріали металеві спечені, крім твердих сплавів. Зразки для випробування на розтяг: ДСТУ 3670-97 (ГОСТ 18227-98) (ISO 2740:1986), – [Чинний від 01.07.99]. – К.: Держстандарт України, 1999. – 14с.
8. Металлургия порошковая. Метод определения плотности формовок: ГОСТ 25281-82 (СТ СЭВ 2287-80). – [Чинний від 27.05.82]. – М.: Изд-во стандартов, 1984 . – 11 с.
9. Перетворювачі термоелектричні. Номінальні статичні характеристики перетворення: ДСТУ 2837-94 (ГОСТ 6616-94). – [Чинний від 01.01.97]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 38 с.
10. Петинов О.В. Испытание электрических аппаратов: учеб. пособие для вузов по спец. «Электрические аппараты» / О.В.Петинов, Е.Ф.Щербаков. – М.: Высш. шк., 1985. – 215 с.
11. Пускатели электромагнитные низковольтные. Общие технические условия: ГОСТ 2491-82 (СТ СЭВ 5535-86). – [Чинний від 01.01.84]. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 24 с.
12. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ГОСТ 8.207-76. – [Чинний від

01.01.77]. – М.: Изд-во стандартов, 1977 . – 7 с.

13. Соединения контактные электрические. Правила приемки и методы испытаний: ГОСТ 17441-84. – [Чинний від 29.11.84]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 199 с.

14. Теплофізичні випробування матеріалів. Терміни та визначення: ДСТУ Б А.1.1-6-94. – [Чинний від 10.01.94]. – К.: Держкоммістобудування України, 1994. – 34 с.

15. Термоперетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом. Загальні технічні вимоги: ДСТУ 2838-94. – [Чинний від 01.01.96]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 14 с.

*Приведено задание, разработана программа для комплексного исследования электромагнитных пускателей с новыми композиционными материалами и приведены методики проведения экспериментальных исследований для обеспечения повышения эффективности и эксплуатационной надежности электромагнитных пускателей сельскохозяйственных электроустановок.*

***Электромагнитный пускатель, экспериментальные исследования, контактный материал, показатель надежности, контактное нажатие, переходное сопротивление, электрический износ, стойкость к свариванию.***

*Given task , a program for the integrated study of electromagnetic starters with new composite materials and methods are given for experimental research to improve the efficiency and operational reliability of electromagnetic starters agricultural installations.*

***Electromagnetic starter, experimental research, contact material, the reliability index, contact pressure, the contact resistance, the electric wear, resistance to welding.***

УДК 631.563.2

## **ОБГРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПІВ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ЗЕРНА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НВЧ-ТЕХНОЛОГІЙ**

***С.Г. Білик, І.В. Калиній, кандидати технічних наук  
В.Я. Бунько, А.П. Марисюк, старші викладачі  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

*Наведено основні принципи сушіння зерна, які слід використовувати при оптимізації конструктивних параметрів, синтезі технологічних схем і виборі режимів сушіння зерна. Досліджено вплив коефіцієнта*

01.01.77]. – М.: Изд-во стандартов, 1977 . – 7 с.

13. Соединения контактные электрические. Правила приемки и методы испытаний: ГОСТ 17441-84. – [Чинний від 29.11.84]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 199 с.

14. Теплофізичні випробування матеріалів. Терміни та визначення: ДСТУ Б А.1.1-6-94. – [Чинний від 10.01.94]. – К.: Держкоммістобудування України, 1994. – 34 с.

15. Термоперетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом. Загальні технічні вимоги: ДСТУ 2838-94. – [Чинний від 01.01.96]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 14 с.

*Приведено задание, разработана программа для комплексного исследования электромагнитных пускателей с новыми композиционными материалами и приведены методики проведения экспериментальных исследований для обеспечения повышения эффективности и эксплуатационной надежности электромагнитных пускателей сельскохозяйственных электроустановок.*

***Электромагнитный пускатель, экспериментальные исследования, контактный материал, показатель надежности, контактное нажатие, переходное сопротивление, электрический износ, стойкость к свариванию.***

*Given task , a program for the integrated study of electromagnetic starters with new composite materials and methods are given for experimental research to improve the efficiency and operational reliability of electromagnetic starters agricultural installations.*

***Electromagnetic starter, experimental research, contact material, the reliability index, contact pressure, the contact resistance, the electric wear, resistance to welding.***

УДК 631.563.2

## **ОБГРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПІВ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ЗЕРНА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НВЧ-ТЕХНОЛОГІЙ**

***С.Г. Білик, І.В. Калиній, кандидати технічних наук  
В.Я. Бунько, А.П. Марисюк, старші викладачі  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

*Наведено основні принципи сушіння зерна, які слід використовувати при оптимізації конструктивних параметрів, синтезі технологічних схем і виборі режимів сушіння зерна. Досліджено вплив коефіцієнта*

*конвективного теплообміну на динаміку нагріву зерна за допомогою НВЧ-технологій.*

***Коефіцієнт конвективного теплообміну, коефіцієнт конвективної дифузії, надвисока частота, температура, НВЧ поле, процес сушіння, волога, теплота, агент сушіння, конвективне сушіння, парціальний тиск.***

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 й 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.

**Мета дослідження** – обґрунтування принципів конвективного сушіння зерна із використанням електромагнітного поля надвисокої частоти.

**Матеріали та методика досліджень.** З точки зору властивостей провідності, зерновий шар є діелектриком, і при потраплянні в поле НВЧ піддається нагріванню, інтенсивність якого залежить від багатьох параметрів. Тому, досліджується не тільки процес діелектричного нагріву, а вплив НВЧ на зміну поля вологовмісту і поля температур у зернівці, як це вплине на інтенсифікацію сушіння зерна в установках активного вентилявання.

Стан зерна, яке піддається діелектричному нагріву в НВЧ полі, прийнято описувати системою диференціальних рівнянь, одним із основних членів яких є коефіцієнт конвективного теплообміну.

**Результати досліджень.** Отримана залежність коефіцієнта конвективного теплообміну (коефіцієнта дифузії пари) дозволяє виконувати порівняльні розрахунки різних режимів НВЧ нагріву в активній зоні.

Широко розповсюджене теплове сушіння зерна. Сорбційне (контактне) сушіння застосовують як допоміжний елемент в деяких сушарках (при сушінні фуражного зерна), а механічне збезводнення (віджимання, центрифугування) зернових відходів – на деяких борошномельних підприємствах [4].

Теплове сушіння пов'язано з обов'язковим перетворенням рідини на парі, на що витрачається теплова енергія. Нині серед способів теплового сушіння найбільшого поширення набуло конвективне сушіння зерна, при якому як теплоносій (сушильний агент) використовується нагрітий газ, що подається в сушильну камеру, для підведення теплоти до зерна і який відводиться з неї для видалення поглиненої ним пари вологи, що виділяється із зерна.

Конвективне сушіння – це випаровування вологи з поверхні зерна в сушильну камеру. При цьому, очевидно, необхідний процес перенесення цієї вологи із зерна на його поверхню. Теплота, що підводиться сушильним агентом (тепломасоносієм), витрачається не лише для випаровування вологи, але і для нагрівання зерна, нагрівання вологи до температури випаровування, перегріву утвореної пари.

Процес конвективного сушіння зерна є складним процесом, котрий являє собою результуючу зовнішню динаміку великого числа внутрішніх досить простих, добре вивчених, одночасно протікаючих і впливаючих один на одного процесів тепло- і вологообміну:

- подачу сушильного агента (і кількості теплоти, що міститься в ньому) в зони сушильної камери;
- перенесення теплоти від сушильного агента до зерна через його поверхню;
- перенесення вологи усередині зерна;
- випаровування вологи з поверхні зерна;
- поглиблення поверхні випаровування всередину зерна;
- перенесення вологи з поверхні зерна в середовище сушильної камери;
- поглинання пари вологи сушильного агента;
- відведення відпрацьованого сушильного агента (і поглиненої ним кількості пари вологи).

Однією з умов правильно організованого сушіння зерна є обов'язкове подальше охолодження його до температури, близької до температури зовнішнього повітря (що не перевищує її більш ніж на 5 °С).

Для зберігання на склад можна закладати лише зерно з кондиційними параметрами за вологістю, чистотою і температурою.

Коефіцієнт конвективного теплообміну (конвективної дифузії пари) відіграє важливу роль в обґрунтуванні процесів тепло- і вологопереносу, в тому числі і при НВЧ обробці. Визначення чисельно величини цього коефіцієнта – один із вагомих етапів розрахунку НВЧ сушіння зерна.

Стан продукту, який підлягає діелектричному нагріву в НВЧ полі, описується системою диференціальних рівнянь [2,3]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \alpha \nabla^2 \theta + \frac{\varepsilon}{c \cdot r} \frac{\partial U}{\partial \tau} + \frac{Q_v}{c \cdot \rho_o}; \\ \frac{\partial U}{\partial \tau} = \alpha_{m_2} \nabla^2 U + \alpha_{m_2} \delta_2 \nabla^2 \theta + \varepsilon \frac{\partial U}{\partial \tau}; \\ \frac{\partial P}{\partial \tau} = \alpha_p \nabla^2 P + \frac{\varepsilon}{c_v} \frac{\partial U}{\partial \tau}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт фазового перетворення рідина-пара;  $\rho_o$  – густина сухої речовини взірця, кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha_{m_2}$  – коефіцієнт дифузії рідини, м<sup>2</sup>/с;  $c$  – питома теплоємність взірця, Дж/кг·°С;  $\delta_2$  – відносний коефіцієнт термодифузії;  $\alpha_p$  – коефіцієнт конвективної дифузії;  $P$  – надлишковий тиск у взірці, Па;  $c_v$  – ємність взірця відносно вологого повітря.  $r$  – питома теплота пароутворення, Дж/кг;  $Q_v$  – потужність внутрішніх джерел теплоти, Вт.

Коефіцієнт конвективної дифузії пари ( $\alpha_p$ ) може бути визначений за допомогою експериментальних кривих релаксації надлишкового тиску пари в зернівці.

Для нагріву зернового шару необхідно відзначити дві особливості:

- а) швидкість зміни температури зернового шару набагато менша

швидкості зміни температури в одній зернівці;

б) швидкість зміни тиску парів всередині зернівки значно більша швидкості зміни температури. Інтенсивність НВЧ нагріву характеризується величиною критерію Померанцева  $P_o(\tau)$ .

У цьому випадку [2]:

$$P_o(\tau) = \frac{2(\Theta_{ц}-\Theta_{п})}{\Theta_c} - \frac{r\rho_s c_v R^2}{\lambda \cdot \Theta_c} \left[ \frac{\partial P}{\partial \tau} - a_p \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \right], \quad (2)$$

де  $\Theta_{ц}$  – температура центральної точки тіла, °С;  $\Theta_{п}$  – температура поверхні тіла, °С;  $\Theta_c$  – середня температура тіла в інтервалі часу  $\Delta t$ , для якого

визначається величина  $\frac{\partial P}{\partial \tau}$ , °С;  $x$  – відстань від центра зернівки, м;  $R$  – визначальний розмір матеріалу (для зерна – радіус зернівки), м.

Криві розподілу надлишкового тиску (рис.1) можуть бути апроксимовані в першому наближенні формулою [3]:

$$P = P_{ц} \left[ 1 - A \left( \frac{x}{l} \right)^2 + B \left( \frac{x}{l} \right)^4 \right], \quad (3)$$

де  $P_{ц}$  – тиск пари в центрі зернівки, Па.

Звідки, для центра зернівки:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = -P_{ц} \frac{2A}{R^2}, \quad (4)$$

де  $A = \frac{1}{1 - \frac{1}{6} \left( \frac{l}{x} \right)_n}$ ,  $\left( \frac{l}{x} \right)_n$  – відстань до точки згину кривої  $P = f \left( \frac{x}{R} \right)$ , м;  $B$  – коефіцієнт.

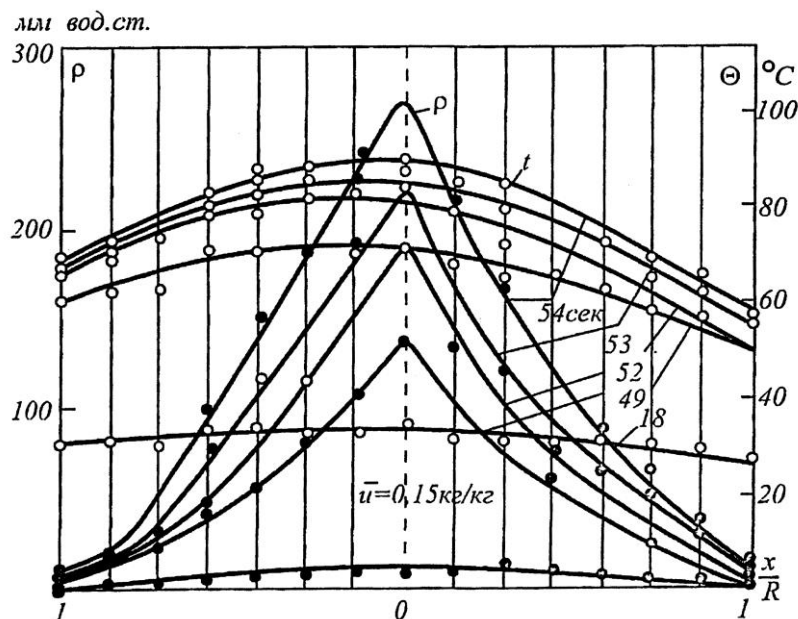


Рис.1. Криві зміни тиску пари і температури при НВЧ нагріві

Приймаючи  $x=0,45R$ , а  $l=1$ , отримаємо  $\left( \frac{l}{x} \right)_n = 2,222$ .

$$A = \frac{1}{1 - \frac{1}{6} \cdot 2,222} = 1,588$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = -P_y \frac{3,176}{R^2} \quad (5)$$

З врахуванням, що  $P_0 = \frac{Q_v \cdot R^2}{\lambda \cdot T_c}$ , і підставивши (2) в (1) отримаємо:

$$\frac{Q_v R^2}{\lambda \cdot \theta_c} = \frac{2(\theta_{ц} - \theta_n)}{\theta_c} - \frac{r \rho_z R^2 c_v}{\lambda \cdot \theta_c} \left[ \frac{dP}{d\tau} + a_p P_y \frac{3,176}{R^2} \right] \quad (6)$$

Звідки

$$\frac{\partial P}{\partial \tau} = \frac{2(\theta_{ц} - \theta_n) \lambda - Q_v R^2}{r \rho_z R^2 c_v} - 3,176 a_p \frac{P_{ц}}{R^2} \quad (7)$$

де  $Q_v = 0,556 \cdot 10^{-10} E^2 f \varepsilon t g \delta$ ;  $Q_v$  – кількість тепла, яке виділяється в матеріалі, Вт/м<sup>3</sup>;  $E$  – напруженість електричного поля, В/м;  $f$  – частота коливань, Гц;  $\varepsilon$  – діелектрична проникність матеріалу;  $t g \delta$  – тангенс кута діелектричних втрат;

$r$  – теплота пароутворення, кДж/кг;  $\rho_z$  – густина зерна, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності зерна,  $\frac{\text{кДж}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{оС}}$ ;  $c_v$  – ємність тепла відносно вологого повітря,  $c_v = \frac{1}{P_H}$ , Па<sup>-1</sup>;  $P_H$  – тиск пари матеріалу при даному вологовмісті, Па.

Щоб вирішити диференційне рівняння (5) та отримати залежність  $P=f(\tau)$  необхідно прийняти початкові умови  $P(0)$ .

Перед НВЧ сушінням шару зерна, який не продувається примусово повітрям, між зерном і повітрям міжзернового простору встановлюється стан гігromетричної рівноваги. Тому, можна прийняти, що  $P(0)=P_H$ . Для вологості зерна 20 % і температурі нагріву зерна 20 °С тиск насиченої пари  $P_H$  при температурі рідини, яка випаровується становить 2327,5 Па [3]. Тиск пари матеріалу буде таким:

$$P_H = W_{0,3} P_H = 0,2 \cdot 2327,5 = 465,50 \text{ Па.}$$

$$c_v = \frac{1}{P_H} = 0,0021; \quad P(0)=465,5 \text{ Па.}$$

У результаті вирішення рівняння (5) отримаємо:

$$P(\tau) = \frac{2\lambda(\theta_{ц} - \theta_n) - Q_v R^2 - 3,176 a_p P_{ц} r \rho_z c_v}{r \rho_z c_v R^2} \tau + 465,5. \quad (8)$$

$$P(\tau) = \frac{2\lambda(\theta_{ц} - \theta_n) - Q_v R^2 - 3,176 a_p P_{ц} r \rho_z c_v}{r \rho_z c_v R^2} \tau + c1. \quad (9)$$

Цей вираз дозволяє отримати зміну тиску пари в центрі зернівки при її НВЧ нагріві.

При припиненні дії НВЧ енергії настає релаксація надлишкового тиску пари в середині зернівки. В цьому випадку при припущенні, що  $\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = 0$ , диференціальне рівняння переносу пари перетвориться в рівняння, ана-

логічне рівнянню Фур'є [3],  $\frac{\partial P}{\partial \tau} = \alpha_p \frac{\partial^2 P}{\partial x^2}$ .

Із теорії теплопровідності вирішення цього рівняння має такий вигляд:

$$P(x, \tau_1) = \cos\left(\frac{\pi x}{2R}\right) e^{-\tau_1 \frac{\alpha_p \pi^2}{R^2 \cdot 4}} \frac{2}{R} \int_0^R P_y \left(1 - 1,588 \left(\frac{x}{R}\right)^2 + 0,588 \left(\frac{x}{R}\right)^4\right) \cos\left(\frac{\pi x}{2R}\right) dx. \quad (10)$$

Після інтегрування отримаємо:

$$P(x, \tau_1) = 0,9492 P_{ц_0} e^{-\tau_1 \frac{\alpha_p \pi^2}{R^2 \cdot 4}} \cos\left(\frac{\pi x}{2R}\right). \quad (11)$$

Для центра зернівки:

$$P(\tau_1) = P_{ц_0} e^{-\tau_1 \cdot 0,25 \cdot \frac{\alpha_p \pi^2}{R^2}}, \quad (12)$$

де  $P_{ц_0}$  – парціальний тиск у центрі зернівки в момент припинення дії НВЧ поля, Па;  $\tau_1$  – час, який відраховується з моменту припинення дії НВЧ енергії.

Приймемо, що при зростанні тиску пари в зернівці при його обробці НВЧ і при релаксації тиску можливі моменти часу  $\tau$ , коли величини цих тисків збігаються  $P(\tau) = P(\tau_1)$ . Тому, записавши спільно рівняння (9) та (12) отримаємо систему, вирішуючи яку можна знайти залежність  $\alpha_p = f(Q, R, \tau, \lambda \dots)$

$$\begin{cases} P(\tau) = \frac{2\lambda(\Theta_{ц} - \Theta_n) - Q_v R^2 - 3,176 \alpha_p P_{ц} r \rho_3 c_v}{r \cdot \rho_3 \cdot c_v \cdot R^2} \tau + c1; \\ P(\tau_1) = P_{ц_0} e^{-\tau_1 \cdot 0,25 \cdot \frac{\alpha_p \pi^2}{R^2}}. \end{cases} \quad (13)$$

Вирішуючи систему відносно  $\alpha_p$ , отримаємо:

$$\alpha_p = -0,0037 \left[ \frac{-1081 \cdot \text{lambert} w[-0,1156 \tau_1 \pi^2 P_{ц_0} \exp(-0,1156 \tau_1 \pi^2 \cdot (2\tau \lambda \cdot (\Theta_n - \Theta_{ц})) + R^2(\tau Q_v - c1 r' \rho_3 c_v)) + r' \rho_3 c_v R^2 \tau P_{ц}] / \tau P_{ц}}{r' \rho_3 c_v \tau P_{ц} \tau_1 \pi^2} \right] \cdot r' \rho_3 c_v \tau R^2 P_{ц} \quad (14)$$

$$\frac{250 \tau_1 \pi^2 \tau \lambda (\Theta_{ц} - \Theta_n) + 125 \tau_1 \pi^2 R^2 (Q_v - c1 r' \rho_3 c_v)}{r' \rho_3 c_v \tau P_{ц} \tau_1 \pi^2}$$

де *lambert w* – функція Ламберта, яка визначена як залежність знаходження  $x$  трансцендентного рівняння  $w e^w = x$  від параметра  $w$ , який входить у рівняння.

Температури  $\Theta_{ц}$  і  $\Theta_n$  можуть бути знайдені з виразу (7):

$$\Theta = \Theta_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2Q_v R^2 (-1)^n}{\lambda \pi^3 n^3} \sin\left(\frac{\pi n}{R} x\right) (e^{K_p \tau} - 1), \quad (15)$$

де  $\Theta_0$  – вихідне значення температури зерна, °C;  $K_p$  – коефіцієнт розділу,

$K_p = \left(\frac{\pi n}{\beta R}\right)^2$ ;  $\beta = \frac{1}{\sqrt{a}}$ ;  $a$  – коефіцієнт температуропровідності.

При визначенні  $\Theta_{ц} I_{x=0}$  використовують спрощений вираз:

$$\Theta_{ц} = \Theta_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2Q_v R^2}{\lambda \pi^2 n^2} (-1)^n (e^{K_p \tau} - 1) \quad (16)$$

Або при  $n=1$

$$\Theta_{ц} = \Theta_0 + \frac{2Q_v R^2}{\lambda \pi^2} - \frac{2Q_v R^2}{\lambda \pi^2} e^{K_p \tau} \quad (17)$$

При  $x = R$  і  $n = 1$  вираз (14) буде виглядати так:

$$\Theta_n = \Theta_0 + \frac{2Q_v R^2 (-1)^n}{\lambda \pi^2 n^2} \sin \pi (e^{K_p \tau} - 1) \quad (18)$$

або

$$\Theta_n = \Theta_0 + \frac{2Q_v R^2}{\lambda \pi^2} \sin \pi e^{K_p \tau} - \frac{2Q_v R^2}{\lambda \pi^2} \sin \pi \quad (19)$$

Оскільки  $\sin \pi = 0$ , то  $\Theta_n = \Theta_0$ , тому для розрахунків приймаємо  $x = 0,9R$ . Тоді (17) запишеться так:

$$\Theta_n = \Theta_0 - \frac{2Q_v R^2}{\lambda \pi^2 0,9} \sin(0,9\pi) + \frac{2Q_v R^2}{\lambda \pi^2 0,9} \sin(0,9\pi) e^{K_p \tau}; \quad (20)$$

$$\Theta_n = \Theta_0 + 0,687 \frac{Q_v R^2 (e^{K_p \tau} - 1)}{\lambda \pi^2} \quad (21)$$

Криві зростання і релаксації тиску наведено на рис.2.

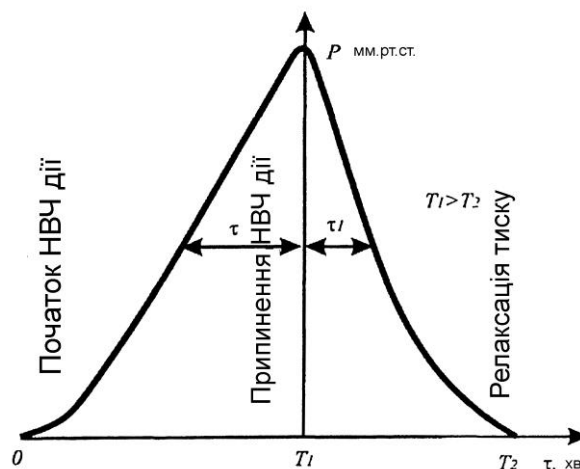


Рис.2. Динаміка зміни тиску парів у зерні при НВЧ нагріві

### Висновки

Зерно, як об'єкт сушіння, є колоїдним капілярно-пористим тілом складної структури. Сушіння зерна – складний нестационарний нелінійний динамічний процес з розподіленими за довжиною, висотою і шириною сушильної камери параметрами. Отримана функціональна залежність  $a_p = f(Q, R, \tau, \lambda \dots)$  дозволяє якісно оцінити вплив коефіцієнта конвективного теплообміну на динаміку НВЧ нагріву і показує, що величина конвективного теплообміну змінюється в певному діапазоні.

### Список літератури

1. Билько М.И. Измерение мощности на СВЧ / М.И. Билько, А.К. Томашевский. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Радио и связь, 1986. – 168 с.
2. Бородин И.Ф. Изменение всхожености семян зерновых культур под влиянием СВЧ-обработки / И.Ф. Бородин, С.В. Вендин, А.Д. Горин. // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1993. - №2. – С. 92–95.
3. Бородин И.Ф. Применение СВЧ-энергии в сельском хозяйстве / Бородин И.Ф., Шарков Г.А., Горин А.Д. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1987. – 56 с.
4. Жидко В.И. Зерносушение и зерносушилки / Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С. – М.: Колос, 1982. – 239 с.

*Приведены основные принципы сушки зерна, которые следует использовать при оптимизации конструктивных параметров, синтезе технологических схем и выборе режимов сушки зерна. Исследовано влияние коэффициента конвективного теплообмена на динамику нагрева зерна с помощью СВЧ-технологий.*

***Коэффициент конвективного теплообмена, коэффициент конвективной диффузии, сверхвысокая частота, температура, СВЧ поле, процесс сушки, влага, теплота, агент сушки, конвективная сушка, парциальное давление.***

*The basic principles of grain drying, which can be used in the optimization of the design parameters, the synthesis of technological scheme and selecting of modes of the grain drying are shown. The influence of convective heat transfer, coefficient on the dynamics of grain heating using microwave technology are investigated.*

***Coefficient of convective heat transfer, coefficient of convective diffusion, ultra-high frequency, temperature, microwave field, the process of drying, moisture, heat, drying agent, convective drying, partial pressure.***

УДК 697.1+621.311(075.8)

### **АНАЛІЗ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТУ У ПРИМІЩЕННЯХ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ №8 НУБІП УКРАЇНИ ПІСЛЯ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ БУДІВЛІ**

***А.В. Міщенко, О.В. Шеліманова, кандидати технічних наук  
Є. О. Антипов, аспірант \****

*Визначено величини температур внутрішнього повітря в окремих приміщеннях корпусу №8 після виконання робіт з термомодернізації будівлі. Виявлено вирівнювання розподілу температур внутрішнього по-*

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук В.Г. Горобець.

*А.В. Міщенко, О.В. Шеліманова, Є. О. Антипов, 2014*

### Список літератури

1. Билько М.И. Измерение мощности на СВЧ / М.И. Билько, А.К. Томашевский. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Радио и связь, 1986. – 168 с.
2. Бородин И.Ф. Изменение всхожености семян зерновых культур под влиянием СВЧ-обработки / И.Ф. Бородин, С.В. Вендин, А.Д. Горин. // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1993. - №2. – С. 92–95.
3. Бородин И.Ф. Применение СВЧ-энергии в сельском хозяйстве / Бородин И.Ф., Шарков Г.А., Горин А.Д. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1987. – 56 с.
4. Жидко В.И. Зерносушение и зерносушилки / Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С. – М.: Колос, 1982. – 239 с.

*Приведены основные принципы сушки зерна, которые следует использовать при оптимизации конструктивных параметров, синтезе технологических схем и выборе режимов сушки зерна. Исследовано влияние коэффициента конвективного теплообмена на динамику нагрева зерна с помощью СВЧ-технологий.*

***Коэффициент конвективного теплообмена, коэффициент конвективной диффузии, сверхвысокая частота, температура, СВЧ поле, процесс сушки, влага, теплота, агент сушки, конвективная сушка, парциальное давление.***

*The basic principles of grain drying, which can be used in the optimization of the design parameters, the synthesis of technological scheme and selecting of modes of the grain drying are shown. The influence of convective heat transfer, coefficient on the dynamics of grain heating using microwave technology are investigated.*

***Coefficient of convective heat transfer, coefficient of convective diffusion, ultra-high frequency, temperature, microwave field, the process of drying, moisture, heat, drying agent, convective drying, partial pressure.***

УДК 697.1+621.311(075.8)

### **АНАЛІЗ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ У ПРИМІЩЕННЯХ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ №8 НУБІП УКРАЇНИ ПІСЛЯ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ БУДІВЛІ**

***А.В. Міщенко, О.В. Шеліманова, кандидати технічних наук  
Є. О. Антипов, аспірант \****

*Визначено величини температур внутрішнього повітря в окремих приміщеннях корпусу №8 після виконання робіт з термомодернізації будівлі. Виявлено вирівнювання розподілу температур внутрішнього по-*

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук В.Г. Горобець.

*А.В. Міщенко, О.В. Шеліманова, Є. О. Антипов, 2014*

*вітря та зменшення залежності їх значень від коливань температур зовнішнього повітря.*

**Температура внутрішнього повітря, термічний опір, регулювання параметрів теплоносія.**

Житлові і громадські будівлі, які споруджувалися в Україні в минулому із застосуванням застарілих матеріалів і технологій, не відповідають сучасним вимогам до ефективного використання енергетичних ресурсів. Зокрема споживання теплової енергії для опалювання будівель в Україні значно перевищує стандарти розвинених країн [ 3 ]. Так, за результатами спрощеного енергоаудиту навчального корпусу №8 НУБіП України, побудованого у 1965 р., дійсні витрати на опалення перевищували нормативні понад 10 % [ 1 ]. Вимірювання температур в окремих приміщеннях навчального корпусу №8 у лютому-березні 2012 р. засвідчили невідповідність температур нормованим значенням та суттєву нерівномірність розподілу температур у кімнатах [ 2 ].

Протягом 2013 р. було виконано утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі корпусу, а також здійснено впровадження системи автоматичного погодозалежного регулювання параметрів теплоносія в індивідуальному тепловому пункті.

**Мета досліджень** – з'ясування того, як вплинула реалізація заходів з термомодернізації будівлі на умови комфортності в приміщеннях, зокрема на величину температур внутрішнього повітря у найхолодніших кімнатах та кімнатах з наднормативною температурою.

**Матеріали та методика досліджень.** Вимірювання температур в окремих кімнатах корпусу № 8 здійснювалося мініатюрним температурним даталоггером RC-1 з внутрішнім датчиком температури. Основні характеристики приладу наведено в [ 2 ].

Для вимірювання термічного опору огорожень будівлі при стаціонарному тепловому режимі застосовувався перетворювач теплового потоку (ПТП ) типу ПТП – 1Б.11.2.1.11.П.00.0. –ДСТУ 3756-98 (ГОСТ 30619-98) [ 4 ].

ПТП виготовлений у вигляді допоміжної стінки, має термоелектричний біметалевий багатошаровий чутливий елемент, що перетворює тепловий потік в електричний сигнал постійного струму.

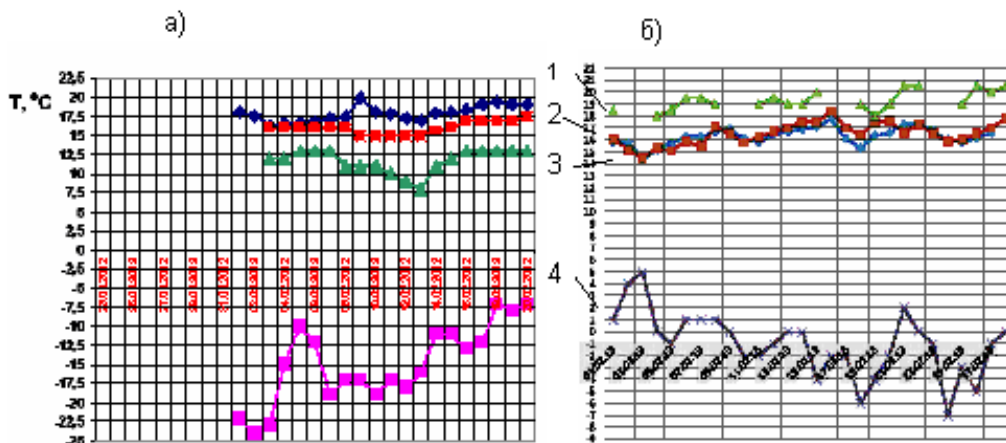
Діапазон вимірювання густини теплового потоку таким приладом 10–1000 Вт/м<sup>2</sup>. Межі допустимої основної відносної похибки ± 4 %. Термостійкість – до 80 °С. Коефіцієнт ефективної теплопровідності 0,8±0,05 Вт/(м·К). Коефіцієнт перетворення – 9,14 Вт/(м<sup>2</sup>·мВ).

Для вимірювання параметрів теплоносія в тепловому пункті використовувався теплोलічильник – СА97/2М (з витратомірами перерізом DN 15). Клас точності приладу – 4. Діапазон витрат теплоносія: максимальний – 2,39 м<sup>3</sup>/год; мінімальний – 1,32 м<sup>3</sup>/год.

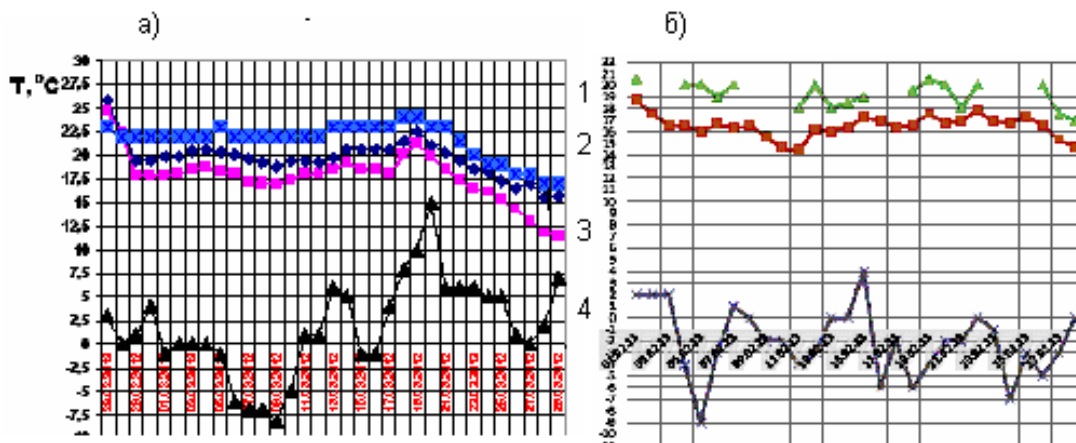
Регулювання температури теплоносія у подавальному трубопроводі з компенсацією по температурі зовнішнього повітря здійснювалося контролером опалення та ГВП RVD 115/109.

**Результати досліджень.** До термомодернізації корпусу значення термічного опору теплопередачі зовнішніх стін знаходилось на рівні  $0,7 \text{ м}^2/(\text{Вт}\cdot\text{К})$ , що майже втричі менше нормативного ( $R = 2,8 \text{ м}^2/(\text{Вт}\cdot\text{К})$ ) [5]. Після нанесення шару зовнішнього утеплювача (базальто-волокнистої плити товщиною  $\delta=100 \text{ мм}$ ) значення термічного опору було доведено до нормативного.

Протягом лютого та березня 2013 року проводились вимірювання температур у кімнаті №4 (перший поверх, південний фасад) та кімнатах № 27 і 30 (третій поверх, південний та північний фасад відповідно). Аналогічні вимірювання здійснювались у ці ж місяці 2012 року [ 2 ]. Дані вимірювань наведено на рис. 1 і 2.



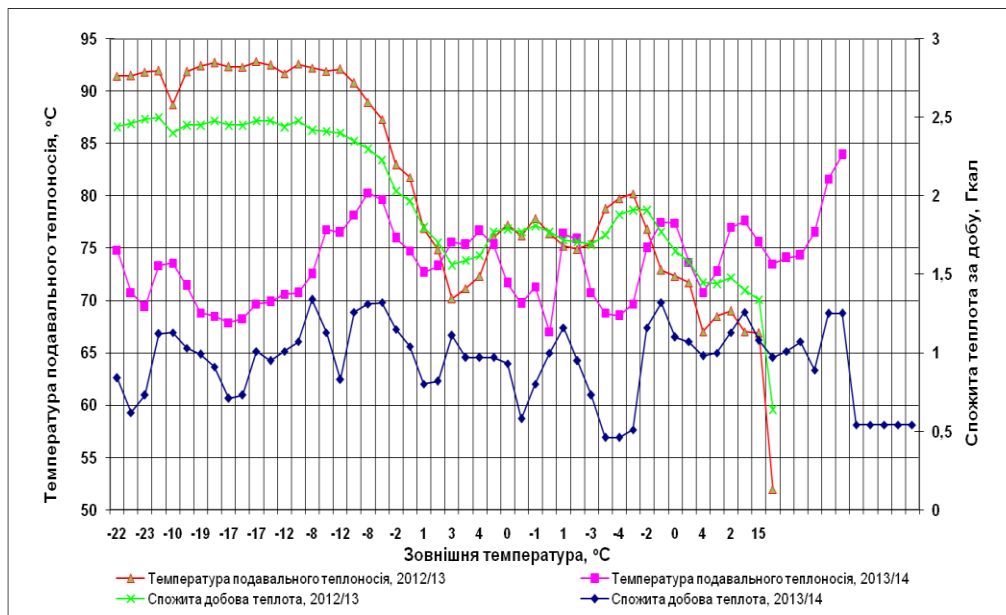
**Рис. 1. Зміна температури в окремих приміщеннях корпусу №8 у лютому 2012 року (а) та у лютому 2013 року (б):**  
 1 – кімната №4; 2 – кімната №27; 3 – кімната №30;  
 4 – температура зовнішнього повітря



**Рис. 2. Зміна температури в окремих приміщеннях корпусу №8 у березні 2012 року (а) та у березні 2013 року (б):**  
 1 – кімната №4; 2 – кімната №27; 3 – кімната №30;  
 4 – температура зовнішнього повітря

Видно, що температури в кімнатах №4, №27, орієнтованих на південь, практично залишились на рівні 2012 року, а температура в кімнаті №30, орієнтованої на північ, зросли в середньому на 2 – 4 °С і, практично, стали відповідати нормам для приміщень навчальних закладів.

Модернізація теплового пункту навчального корпусу № 8 з улаштуванням системи автоматичного регулювання параметрів теплоносія дозволила зменшити витрати теплоти на опалення у періоди підвищення температури зовнішнього повітря, а також у нічні години та у вихідні дні (рис. 3).



**Рис. 3. Результати моніторингу витрат теплоносія та теплової енергії**

### Висновки

1. Покращення теплоаккумулятивних властивостей зовнішнього огороження спричинили вирівнювання профілю температур внутрішнього повітря як по поверхах корпусу, так і по фасадах.
2. Після термомодернізації будівлі внутрішня температура менше залежить від коливань температур зовнішнього повітря.
3. Незважаючи на зменшення витрат теплової енергії на опалення корпусу майже вдвічі, значення температур у кімнатах корпусу практично відповідають нормам для приміщень навчальних закладів.

### Список літератури

1. Козирський В.В. Результати спрощеного енергоаудиту об'єктів НУБіП України / В.В. Козирський, О.М. Берека, О.В. Шеліманова // Енергетика і автоматика. – 2012. – №1(12). – С.55–63.
2. Міщенко А.В. Дослідження параметрів мікроклімату у приміщеннях навчального корпусу №8 НУБіП України / А.В. Міщенко, О.В. Шеліманова, О.Є. Оленів // Науковий вісник НУБіП України. – 2012. – Вип. 174, ч.1. – С. 63–66.
3. Сафіуліна К.Р. Енергозбереження в університетських містечках / Сафіуліна К.Р., Колінко А.Г., Тормасов Р.Ю. – К.: ТОВ «Поліграфплюс», 2010. – 328 с.

4. Температурные измерения: справ. / [Геращенко О.А., Гордов А.Н., Лах В.И. и др.]. – К.: Наук. думка, 1984. – 493 с.

5. Теплоизоляция зданий: ДБН В.2.6-31:2006. – К.: М-во буд-ва, архитектуры та житлово-комунального госп-ва України, 2006. – 73 с.

*Определены величины температур внутреннего воздуха в отдельных помещениях корпуса № 8 после выполнения работ по термомодернизации здания. Выявлено выравнивание распределения температур внутреннего воздуха и уменьшение зависимости их значений от колебаний температур наружного воздуха.*

***Температура внутреннего воздуха, термическое сопротивление, регулирование параметров теплоносителя.***

*The value of the internal air temperature in a separate rooms in building number 8 after works of thermo building are determined , Equalization of temperature distribution inside air and reducing dependence of their values from fluctuations in ambient temperature are revealed/*

***The internal air temperature, thermal resistance, adjusting the parameters of the heat-transfer agent.***

УДК 631.862.363

## **ОРГАНІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ПОТОКОВО-ВИРОБНИЧИХ ЛІНІЙ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДІАГНОСТУВАННЯ**

***В.Г. Подобайло, кандидат технічних наук  
М.В. Потапенко, Н.П. Семенова, старші викладачі  
ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”***

*Розглянуто питання підвищення ефективності ремонтно-обслуговуючих робіт сервісних підприємств на основі інформації про фактичний стан елементів технологічних систем біогазових установок.*

***Біогазова установка, потоково-виробнича лінія, відмова, питоми витрати.***

Застосування біогазових установок дозволяє вирішити проблеми екологічного, енергетичного та агрохімічного характеру. Сучасні біогазові установки є складними технологічними системами, які складаються з підсистем основного та допоміжного обладнання, мікропроцесорних систем керування і програмного забезпечення. Тому значний теоретичний та

4. Температурные измерения: справ. / [Геращенко О.А., Гордов А.Н., Лах В.И. и др.]. – К.: Наук. думка, 1984. – 493 с.

5. Теплоизоляция зданий: ДБН В.2.6-31:2006. – К.: М-во буд-ва, архитектуры та житлово-комунального госп-ва України, 2006. – 73 с.

*Определены величины температур внутреннего воздуха в отдельных помещениях корпуса № 8 после выполнения работ по термомодернизации здания. Выявлено выравнивание распределения температур внутреннего воздуха и уменьшение зависимости их значений от колебаний температур наружного воздуха.*

***Температура внутреннего воздуха, термическое сопротивление, регулирование параметров теплоносителя.***

*The value of the internal air temperature in a separate rooms in building number 8 after works of thermo building are determined , Equalization of temperature distribution inside air and reducing dependence of their values from fluctuations in ambient temperature are revealed/*

***The internal air temperature, thermal resistance, adjusting the parameters of the heat-transfer agent.***

УДК 631.862.363

## **ОРГАНІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ПОТОКОВО-ВИРОБНИЧИХ ЛІНІЙ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДІАГНОСТУВАННЯ**

***В.Г. Подобайло, кандидат технічних наук  
М.В. Потапенко, Н.П. Семенова, старші викладачі  
ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”***

*Розглянуто питання підвищення ефективності ремонтно-обслуговуючих робіт сервісних підприємств на основі інформації про фактичний стан елементів технологічних систем біогазових установок.*

***Біогазова установка, потоково-виробнича лінія, відмова, питоми витрати.***

Застосування біогазових установок дозволяє вирішити проблеми екологічного, енергетичного та агрохімічного характеру. Сучасні біогазові установки є складними технологічними системами, які складаються з підсистем основного та допоміжного обладнання, мікропроцесорних систем керування і програмного забезпечення. Тому значний теоретичний та

практичний інтерес викликають питання організації ремонтно-обслуговуючих робіт у діяльності сучасних сервісних підприємств.

З ліквідацією централізованої розподільної системи матеріально-технічних ресурсів в АПК її може замінити сервіс на основі лізингу. Ця форма збуту продукції сільськогосподарського машинобудування дозволяє підвищити фінансове положення підприємств. Основною формою існування в подальшому сервісних організацій прогнозується фінансовий лізинг, тобто з повною окупністю орендованої техніки. Орендована техніка протягом всього договору знаходиться на балансі підприємства, тому одним із основних завдань технічного сервісу є проведення ремонтно-обслуговуючих робіт технологічних систем для підтримання їх роботоздатності, довговічності та надійності.

Прогнозування залишкового ресурсу для обладнання потоково-виробничих ліній (ПВЛ) біогазових установок має велике значення, тому що ремонт однієї машини в більшості випадків призводить до зупинки всієї лінії.

**Мета досліджень** – розробка математичних методів визначення економічної ефективності проведення ремонтно-обслуговуючих робіт ПВЛ біогазових установок на основі зіставлення інтервалів залишкового ресурсу всіх складових технологічних ліній.

**Матеріали та методика досліджень.** Для підвищення ефективності використання машин та електрообладнання технологічних систем необхідна оптимізація відновлювальних робіт на основі результатів діагностування, що забезпечить високу безвідмовність роботи ПВЛ біогазових установок та довговічність всіх елементів системи.

Вирішення цих проблем зводиться до усунення раптових та поступових відмов.

Раптові відмови можна попередити за допомогою покращення конструктивних рішень, а поступові – проведенням планово-запобіжних заходів технічного обслуговування.

**Результати досліджень.** Структурна схема ПВЛ біогазової установки може бути представлена як послідовно з'єднані агрегати.

Якщо розглянути лише раптові відмови, то час їх появи та відновлення можна описати експоненціальним розподілом із параметрами  $\lambda$ ,  $\mu$ .

Оскільки час до відмови і час ремонту являють собою незалежні випадкові величини, то процес можливих прямих і зворотних переходів буде марковським та описується диференціальними рівняннями [1]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_0(t)}{dt} &= -\sum_{i=1}^n \lambda_i P_0(t) + \sum_{i=1}^n \mu_i P_i(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} &= -\mu_1 P_1(t) + \lambda_1 P_0(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= -\mu_2 P_2(t) + \lambda_2 P_0(t) \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{dP_n(t)}{dt} &= -\mu_n P_n(t) + \lambda_n P_0(t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i(t) = 1 \quad (2)$$

при де  $\lambda$  – інтенсивність раптових відмов;  $\mu$  – інтенсивність відновлення роботоздатності пристрою;  $P_i(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го пристрою.

Розв'язавши рівняння (1) і (2) при початкових умовах  $P_0(t)=1$ ,  $P_i(0)=0$ ,  $i=1,2,\dots,n$  можна визначити ймовірність знаходження ПВЛ біогазових установок у різних надійних станах.

Ефективність використання машин і обладнання ґрунтується на порівнянні витрат, які необхідні для підвищення надійності та отриманого економічного ефекту. Оптимізацію ремонтно-відновлювальних робіт доцільно проводити за інформаційним критерієм, який передбачає поділ робіт на два види.

До першого виду робіт належать ті, в яких відома апіорна інформація про машини ПВЛ, що представлена як функція розподілу часу безвідмовної роботи  $F(t) = P(T < t)$ , де  $T$  – випадкова величина напрацювання на відмову.

Цьому виду відповідає стратегія робіт щодо напрацювання, яка передбачає проведення запобіжних робіт заздалегідь визначеного об'єму через фіксовані, попередньо розраховані інтервали напрацювання  $T_n$ . Ведення планово-запобіжних робіт оптимізується на основі критерію мінімуму експлуатаційних витрат [2].

Нині вкрай необхідні дослідження для одержання статистичних даних щодо надійності технологічного обладнання біогазових установок. Але для якіснішого планування робіт необхідна інформація про поточний стан агрегатів, який представляється як функція зміни основного характеризуючого параметра агрегату.

Стратегія проведення ремонтно-попереджувальних робіт зі стану агрегату внаслідок складності отримання достовірної інформації про по-

точний стан об'єкта досліджена неповністю. В результаті вдосконалення засобів діагностики з'явилася можливість отримання даних про параметри, які характеризують стан об'єктів без їх розбирання. Тому керування технічним станом ПВЛ біогазових установок на основі визначення оптимального залишкового ресурсу кожного елемента дозволяє спланувати ремонтно-попереджувальні роботи з використанням принципів системного аналізу [3,4]. При цьому доцільним є одночасний ремонт елементів потокової лінії, а тому витрати будуть розподілені між ними і тим самим буде знижена вартість ремонту кожного агрегату.

Доцільність одночасного ремонту потрібно визначати на основі техніко-економічного критерію мінімуму  $\varphi_{\text{л}}$  питомих витрат з ПВЛ біогазової установки в цілому.

Функція питомих витрат для елемента потокової лінії буде мати вигляд:

$$\varphi_i(t_{\text{заг.}i}) = \frac{\{A_i Q_i(t_{\text{заг.}i}) + C_i [1 - Q_i(t_{\text{заг.}i})]\}}{t_{\phi}(t_{\text{заг.}i})}, \quad (3)$$

де  $A_i$  – витрати на аварійний ремонт;  $C_i$  – втрати внаслідок простою обладнання;  $Q_i$  – відносна вартість обмінного фонду запчастин;  $t_{\text{заг.}i}$  – вектор,  $i$ -та координата якого задає залишковий ресурс;  $t_{\phi}$  – фактичне напрацювання до моменту контролю.

Необхідно розробити таку організацію попереджувально-ремонтних робіт, щоб:

$$\varphi_{\text{л}}(t_{\text{заг.л}}) = \sum_{i=1}^n \varphi_i(t_{\text{заг.}i}) \rightarrow \min, \quad (4)$$

де  $t_{\text{заг.л}}$  – залишковий ресурс  $i$ -го агрегату.

При організації сумісного ремонту  $i$ -ї складової частини з  $n-1$  іншими, величина втрат на аварійний ремонт  $A_{ni}$  буде тим менша, чим більше значення елементів  $n$ , які одночасно ремонтуються. Знаючи зміну функції  $\varphi_i(t_{\text{заг.}i})$  при різних значеннях  $A_{ni}$ , можна визначити  $t_{\text{н.зал.}i \text{ min}}$  і  $t_{\text{н.зал.}i \text{ max}}$ . Якщо  $t_{\text{зал.л}}$  буде в межах  $t_{\text{н.зал.}i \text{ min}}$ ,  $t_{\text{н.зал.}i \text{ max}}$ , то при проведенні сумісних ремонтів  $i$ -ї складової лінії разом з  $n-1$  інших складових, питомі витрати  $\varphi_{\text{л}}(t_{\text{заг.л}})$  будуть у межах мінімуму.

Для більшості сучасних ПВЛ біогазових установок кількість виробничих агрегатів становить 4–6 одиниць, спрацювання яких визначає обсяг і характер ремонту. Відновлення номінальних значень параметрів агрегатів обумовлює проведення капітального ремонту або його заміну.

## Висновки

Проблема розробки математичних методів визначення економічної ефективності організації ремонтно-обслуговуючих робіт стосовно техно-

логічних систем потребує формулювання загальних принципів визначення фактичного стану ПВЛ біогазових установок у процесі експлуатації.

Тому сумісний ремонт агрегатів, строки та обсяги яких визначаються методом зіставлення інтервалів залишкового ресурсу всіх складових технологічної лінії, буде економічно ефективнішим від індивідуальних ремонтів окремих машин.

### Список літератури

1. Анілович В.Я. Міцність та надійність машин / В.Я. Анілович. – К.: Урожай. 1996. – 288 с.
2. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.. – М.: Наука, 1965 – 524 с.
3. Михнин В.М. Прогнозирование технического состояния машин / В.М. Михнин. – М.: Колос, 1976. – 214 с.
4. Телков Ю.К. Системный анализ и методология автоматического проектирования непрерывных технологических производств / Ю.К. Телков. – М.: Академия народного хозяйства, 1978. – 220 с.

*Рассмотрены вопросы повышения эффективности ремонтно-обслуживающих работ сервисных предприятий на основе информации о фактическом состоянии элементов технологических систем биогазовых установок.*

**Биогазовая установка, поточно-производственная линия, отказ, удельные расходы.**

*The problems of improving the efficiency of repair and maintenance work and service enterprises based on information about the actual state of elements of technological systems of biogas plants.*

**Biogas plant, thread-production line, failure, the unit cost.**

УДК 537.315.6

## ОБГРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК НА ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

**В.Я. Бунько, старший викладач  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»**

*Проведено обґрунтування впливу вищих гармонік на елементи системи електропостачання та показники якості електричної енергії в розподільних мережах.*

**Вищі гармоніки, якість електричної енергії, коефіцієнт несиметрії, втрати потужності, джерело живлення, активний фільтр, додаткові втрати.**

---

© В.Я. Бунько, 2014

логічних систем потребує формулювання загальних принципів визначення фактичного стану ПВЛ біогазових установок у процесі експлуатації.

Тому сумісний ремонт агрегатів, строки та обсяги яких визначаються методом зіставлення інтервалів залишкового ресурсу всіх складових технологічної лінії, буде економічно ефективнішим від індивідуальних ремонтів окремих машин.

### Список літератури

1. Анілович В.Я. Міцність та надійність машин / В.Я. Анілович. – К.: Урожай. 1996. – 288 с.
2. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.. – М.: Наука, 1965 – 524 с.
3. Михнин В.М. Прогнозирование технического состояния машин / В.М. Михнин. – М.: Колос, 1976. – 214 с.
4. Телков Ю.К. Системный анализ и методология автоматического проектирования непрерывных технологических производств / Ю.К. Телков. – М.: Академия народного хозяйства, 1978. – 220 с.

*Рассмотрены вопросы повышения эффективности ремонтно-обслуживающих работ сервисных предприятий на основе информации о фактическом состоянии элементов технологических систем биогазовых установок.*

**Биогазовая установка, поточно-производственная линия, отказ, удельные расходы.**

*The problems of improving the efficiency of repair and maintenance work and service enterprises based on information about the actual state of elements of technological systems of biogas plants.*

**Biogas plant, thread-production line, failure, the unit cost.**

УДК 537.315.6

## ОБГРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК НА ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

**В.Я. Бунько, старший викладач  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»**

*Проведено обґрунтування впливу вищих гармонік на елементи системи електропостачання та показники якості електричної енергії в розподільних мережах.*

**Вищі гармоніки, якість електричної енергії, коефіцієнт несиметрії, втрати потужності, джерело живлення, активний фільтр, додаткові втрати.**

---

© В.Я. Бунько, 2014

Передавання, розподіл, перетворення та споживання електричної енергії супроводжуються відхиленнями параметрів, які характеризують її за певними властивостями від первинних значень.

Якість електричної енергії – це сукупність її властивостей, при яких електрообладнання, прилади та апарати здатні нормально функціонувати, виконувати закладені в них функції.

Забезпечення необхідної якості електроенергії для приймачів – це комплекс складних завдань, які розв'язують під час проектування та експлуатації електропостачальних систем (ЕПС). 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, тому що на сучасних підприємствах є велика 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 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).

Показники якості визначають за стандартами та нормами. Розробка норм і стандартів є складною проблемою, ця робота проводиться постійно в багатьох країнах світу та в 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 1994р. було прийнято та розроблено багато стандартів, якими нормують показники якості електроенергії в різних мережах, зокрема і промислових, та визначають умови приєднання споживачів до мереж.

Норми, що встановлені цим стандартом, є рівнями електромагнітної сумісності для кондуктивних електромагнітних збурень (завад) в ЕПС загального призначення. За умов дотримання цих норм забезпечується електромагнітна сумісність електричних мереж систем електропостачання загального призначення та електричних мереж споживачів (приймачів) електричної енергії. Норми є обов'язковими в усіх режимах роботи електропостачальних систем загального призначення, крім режимів, зумовлених:

- винятковими погодними умовами;
- непередбачуваними ситуаціями (пожежі, вибухи тощо);
- умовами, регламентованими державними органами управління, а також пов'язаними з ліквідацією наслідків, зумовлених винятковими погодними умовами та непередбачуваними обставинами.

**Мета досліджень** – аналіз впливу вищих гармонік на елементи системи електропостачання та якість електричної енергії в розподільних мережах.

**Матеріали та методика досліджень.** На основі вивчення літерату-

рних джерел розглянуто стан якості електричної енергії в системах електропостачання. Визначено наслідки, викликані погіршенням якості електроенергії, при чому особливу увагу приділено вищим гармонікам складових струму і напруги, як найскладнішому для інженерної оцінки фактора.

**Результати досліджень.** Особливість електричної енергії полягає в тому, що її якість на місці виробництва не гарантує якості на місці споживання. Якість електроенергії до і після ввімкнення електроприймача до мережі також може бути різною. Тому, відповідна якість електричної енергії – це один із її головних показників ефективності виробництва, передачі розподілу і споживання.

Основними формами дії вищих гармонічних складових струму і напруги на елементи системи електропостачанняє:

- збільшення струмів і напруг гармонік внаслідок резонансу;
- зниження ефективності процесів генерації, передачі і використання електроенергії внаслідок додаткових втрат;
- пришвидшення старіння ізоляції електроустаткування;
- хибна робота пристроїв релейного захисту та автоматики.

Вищі гармоніки в електродвигунах призводять до додаткових втрат в обмотках статора, колах ротора, а також у сталі ротора і статора. Ці втрати призводять до підвищення загальної температури машини, а також до місцевих перегрівів.

Вищі гармонічні складові струму і напруги викликають у трансформаторах збільшення втрат на гістерезис, а також втрат, пов'язаних з вихровими струмами у сталі, і втрат в обмотках трансформаторах. Також, вищі гармоніки струму складають електродинамічні зусилля, які викликають додаткові акустичні шуми.

Гармоніка струму і напруги в лініях електропередачі також призводять до додаткових втрат електроенергії. У випадку кабельних ліній вищі гармоніки впливають на діелектрик. Це в свою чергу, збільшує число пошкоджень кабельної лінії. У повітряних лініях гармоніки за цією ж причиною можуть викликати збільшення втрат на корону. Електричне старіння ізоляції можна пояснити виникненням часткових зарядів, які розповсюджуються лише на частину ізоляційного проміжку.

Хибне спрацювання запобіжників і автоматичних вимикачів відбувається через додаткове нагрівання внутрішніх елементів захисних пристроїв внаслідок протікання несинусоїдальних струмів і дії поверхневого ефекту та ефекту близькості. Також вищі гармонічні складові струму і напруги можуть порушувати роботу захисту або погіршувати їх характеристики. Характер цього порушення в основному залежить від принципу роботи пристрою і режиму роботи системи. В аварійних режимах вищі гармоніки значно впливають на деякі види релейного захисту. Якщо не знижувати рівень гармонік, то ймовірність хибної роботи релейного захисту значно збільшується.

Актуальною є задача оцінки додаткових втрат потужності в основних елементах системи електропостачання від вищих гармонік. Знаючи величину втрат, можна знизити їх, застосовуючи організаційні заходи, або, якщо їх недостатньо – технічні засоби, які знижують рівень гармонік.

Розглянемо методи оцінки додаткових втрат в елементах електричної системи від вищих гармонік струму і напруги в різних елементах системи електропостачання.

Лінії електропередачі (ЛЕП) також, як і силові трансформатори, є складовим елементом електричних мереж. Додаткові втрати активної потужності в ЛЕП, викликані протіканням струмів вищих гармонік визначаються за формулою[5]:

$$\Delta P_{\Sigma v} = 3 \sum_{v=2}^n I_v^2 R_1 k_{rv}, \quad (1)$$

де  $v$  – номер гармоніки;  $n$  – число врахованих гармонік;  $I_v$  – струм  $v$ -ої гармоніки, А;  $R_1$  – активний опір лінії на основній частоті, Ом;  $k_{rv}$  – коефіцієнт, який враховує вплив поверхневого ефекту, як правило:  $k_{rv} = 0,47\sqrt{v}$ .

Слід зазначити, що в деяких роботах експериментальним шляхом досліджено вплив гармонік на активний і реактивний опори проводів марок АС та АСО, а також кабелів 6-25кВ різного перерізу. Відповідно до цих досліджень питомий активний опір провідника на частоті  $v$ -тої гармоніки буде:

$$r_{0v} = r_0 (k_{\Pi v} + k_{\delta v}), \quad (2)$$

де  $r_0$  – питомий опір провідника постійному струму (з врахуванням температури), Ом;  $k_{\Pi v}$  – коефіцієнт, який враховує наявність поверхневого ефекту для  $v$ -тої гармоніки,  $k_{\Pi v} = 0,021\sqrt{f}$  – для міді і  $k_{\Pi v} = 0,01635\sqrt{f}$  – для алюмінію. Коефіцієнт  $k_{\delta v}$ , який враховує близькість  $v$ -ої гармоніки, визначається за формулою:

$$k_{\delta v} = \frac{1,18 + k_{\Pi v}}{k_{\Pi v} + 0,27} \left(\frac{d}{a}\right)^2, \quad (3)$$

де  $d$  – діаметр жили провідника, мм;  $a$  – відстань між центрами жил, мм.

Що стосується ефекту близькості, то його обов'язково необхідно враховувати для кабельних ліній. Для повітряних ліній, якщо  $a > 50$  мм, ефект близькості пропонується не враховувати і вираз для розрахунку втрат від вищих гармонік у ЛЕП набуде вигляду:

$$\Delta P_{\Sigma v} = 3 r_0 l \sum_{v=2}^n I_v^2 (k_{\Pi v} + k_{\delta v}). \quad (4)$$

Втрати активної потужності в силових трансформаторах від струмів вищих гармонік виражаються формулою:

$$\Delta P_{\Sigma v} = 3 \sum_{v=2}^n I_v^2 R_{k1} k_{vm}, \quad (5)$$

де  $I_v$  – струм  $v$ -тої гармоніки, яка проходить через трансформатор, А;  $R_{k1}$  – опір короткого замикання трансформатора на основній частоті, Ом;  $k_{vm}$  – коефіцієнт, який враховує збільшення опору короткого замикання для вищих гармонік внаслідок впливу поверхневого ефекту та ефекту близькості. Для силових трансформаторів можна прийняти  $k_{5m} = 2,1$ ;  $k_{7m} = 2,5$ ;  $k_{11m} = 3,2$ ;  $k_{13m} = 3,7$ . Втрати на частотах гармонік вище 13-тої є малими, і ними можна знехтувати. Але, не завжди амплітуда напруги вищих гармонік зменшується при збільшенні порядку ви-

щих гармонік. У системах з потужним джерелом струму вищих гармонік або резонансними умовами на гармоніках більш високого порядку (включно до 40-ї) можуть спостерігатися дуже великі значення гармонік напруги з порядком вище 13-тої.

Додаткові втрати в трансформаторах від протікання струмів вищих гармонік можна виразити у вигляді суми втрат х.х. і к.з. Приймемо, що опір кола взаємної індукції схеми заміщення трансформатора для струмів вищих гармонік постійний, і рівний значенню на основі гармоніки [1]. Тоді додаткові втрати х.х., обумовлені вищими гармоніками, можна визначити за виразом:

$$\Delta P_{x.x.v} = \Delta P_{x.x.} \sum_{v=2}^n \left( \frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2 \quad (6)$$

Враховуючи, що активний опір к.з. на  $v$ -Тій гармоніці може бути подано як  $r_{к.з.v} \approx 0,47 \sqrt{v r_{к.з.}}$ , а відношення  $Z_{к.з.v} / Z_{к.з.} \approx X_{к.з.v} / X_{к.з.} \approx 0,88v$ , додаткові втрати к.з., викликані несинусоїдальністю напруги [4]:

$$\Delta P_{к.з.v} = 0,607 \frac{\Delta P_{к.з.}}{u_{к.з.}^2} \sum_{v=2}^n \left( \frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2 \frac{1}{v\sqrt{v}} \quad (7)$$

Крім основних, у трансформаторах є додаткові втрати, обумовлені вихровими струмами. Величина цих втрат в обмотках трансформаторах зростає пропорційно квадрату номера гармоніки [2]:

$$\Delta P_{доб v} = v^2 0,05 \Delta P_{к.з.v} \quad (8)$$

Таким чином, сумарні додаткові втрати, обумовлені несинусоїдальним режимом роботи трансформатора, визначаються так:

$$\Delta P_{\Sigma v} = \Delta P_{x.x.} \sum_{v=2}^n \left( \frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2 + 0,607 \frac{\Delta P_{к.з.}}{u_{к.з.}^2} \sum_{v=2}^n \frac{1+0,05v^2}{v\sqrt{v}} \left( \frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2 \quad (9)$$

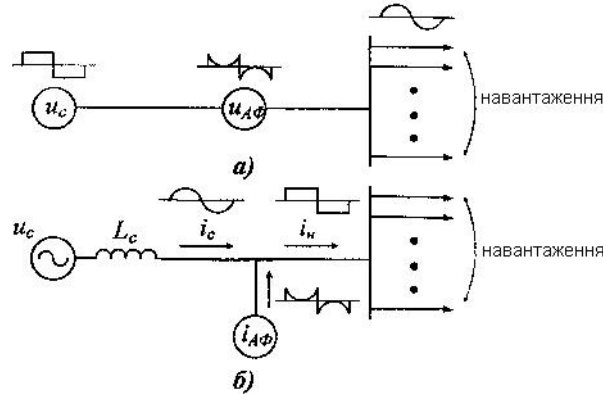
До технічних засобів, які знижують рівень гармонік у системах електропостачання, належать:

- лінійні дроселі;
- магнітні синтезатори;
- пасивні фільтри;
- гібридні фільтри;
- активні фільтри.

Залежно від схеми і принципів керування активні фільтри прийнято розділяти на джерела струму і джерела напруги. На рисунку наведено спрощені схеми ввімкнення активних фільтрів у вигляді джерел напруги  $U_{АФ}$  і джерел струму  $I_{АФ}$ . У схемі (рисунок) джерело електроживлення  $U_C$  має несинусоїдальну напругу.

Для забезпечення синусоїдальності кривої напруги на шині навантаження  $U_H$  послідовно з джерелом живлення вмикається активний фільтр гармонік у вигляді еквівалентного джерела напруги  $U_{АФ}$ . Параметри схеми визначаються із таких співвідношень:

$$\begin{cases} U_c(t) = \sum_{n=1}^{\infty} U_{nm} \sin(n\omega t - \varphi_n); \\ U_H(t) = U_{1m} \sin(\omega t - \varphi_1); \\ U_{A\Phi}(t) = \sum_{n \neq 1}^{\infty} U_{nm} \sin(n\omega t - \varphi_n) \\ U_H(t) = U_c(t) - U_{A\Phi}(t). \end{cases} \quad (10)$$



**Схема ввімкнення активного фільтра:** а – послідовне ввімкнення активного фільтра; б – паралельне ввімкнення активного фільтра

Приймаючи, що втрати в активному фільтрі та його елементах дорівнюють нулю, а навантаження – лінійне, можемо визначити активну потужність фільтра на інтервалі періоду основної частоти [3].

$$P_{A\Phi} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [\sum_{n \neq 1}^{\infty} U_{nm} \sin(n\omega t - \varphi_n)] I_{Hm1} \sin(\omega t - \varphi_{i1}) dt = 0 \quad (11)$$

Із виразу (11) випливає, що при прийнятих допущеннях активний фільтр гармонік не впливає на баланс активної потужності в системі «джерело живлення – навантаження». У цьому випадку активний фільтр безпосередньо бере участь в обміні потужністю спотворення з джерелом несинусоїдальної напруги. Потужність спотворення є неактивною і передається по контуру: джерело живлення – ділянка електричної лінії, яка з'єднує джерело і активний фільтр. Останнім елементом активного фільтра, який накопичує і віддає енергію, обумовлену спотворенням напруги, є накопичувач електричної енергії – конденсатор або реактор.

### Висновки

Проведений аналіз робіт показує, що в сучасних умовах частка нелінійного навантаження є значною. Тому, проблеми оцінки рівня втрат потужності від вищих гармонік і зниження цих втрат є важливими. Зниження рівня вищих гармонічних складових струму і напруги для забезпечення синусоїдальності кривої напруги може бути досягнуто застосуванням різних способів і спеціальних технічних засобів. Встановлено, що найбільш перспективним і ефективним технічним засобом є активний фільтр гармонік, який забезпечує синусоїдальність кривої напруги за рахунок зниження рівня гармонік.

### Список літератури

1. Васютинский С.Б. Вопросы теории и расчета трансформаторов / С.Б. Васютинский. – Л.: Энергия, 1970. – 432с.

2. Лютаревич А.Г. Повышение качества электроэнергии в распределительных сетях за счет снижения несинусоидальности кривой напряжения: дис. канд. техн. наук: 05.14.02 / Лютаревич Александр Геннадьевич. – Омск, 2009. –134 с.
3. Розанов Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов / Розанов Ю.К., Рябчинський М.В., Кваснюк А.А. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с.
4. Церазов А.Л. Исследование влияний несимметрии и несинусоидальности напряжения на работу асинхронных двигателей / А.Л. Церазов, Н.И. Якименко. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 120с.
5. Шидловский А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов. – К.: Наук. думка, 1985. – 268с.

*Проведено обоснование влияния высших гармоник на элементы системы электроснабжения и показатели качества электрической энергии в распределительных сетях.*

***Высшие гармоники, качество электрической энергии, коэффициент несимметрии, потери мощности, источник питания, активный фильтр, дополнительные потери.***

*Argumentation of higher harmonics effect on the power supply system elements and indicators of the quality of electric energy in distribution networks is realized.*

***Higher harmonics, power quality, unbalance, power loss, power supply, active filter, additional losses.***

УДК.631-37

## **АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК**

***В.Ю.Рамш, кандидат технічних наук  
ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”***

*Розглянуто методику вибору системи керування технологічними процесами біогазових установок як складової частини всієї технологічної системи.*

***Біогазові установки, матриця, система керування, стійкість регулювання.***

Взаємозв'язок енергетики та економіки вимагає насамперед економії енергії на всіх рівнях виробництва та споживання. Поставлена мета досягається тоді, коли приріст потреб у паливі та енергії на 75 % задовольняється за рахунок відновлюваних джерел енергії [1].

Застосування потужних біогазових установок (БГУ) дозволяє вирішити проблеми енергетичного, екологічного та агрохімічного характеру і може бути базовою основою для створення екологічно чистих джерел енергії.

2. Лютаревич А.Г. Повышение качества электроэнергии в распределительных сетях за счет снижения несинусоидальности кривой напряжения: дис. канд. техн. наук: 05.14.02 / Лютаревич Александр Геннадьевич. – Омск, 2009. –134 с.
3. Розанов Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов / Розанов Ю.К., Рябчинський М.В., Кваснюк А.А. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с.
4. Церазов А.Л. Исследование влияний несимметрии и несинусоидальности напряжения на работу асинхронных двигателей / А.Л. Церазов, Н.И. Якименко. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 120с.
5. Шидловский А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов. – К.: Наук. думка, 1985. – 268с.

*Проведено обоснование влияния высших гармоник на элементы системы электроснабжения и показатели качества электрической энергии в распределительных сетях.*

***Высшие гармоники, качество электрической энергии, коэффициент несимметрии, потери мощности, источник питания, активный фильтр, дополнительные потери.***

*Argumentation of higher harmonics effect on the power supply system elements and indicators of the quality of electric energy in distribution networks is realized.*

***Higher harmonics, power quality, unbalance, power loss, power supply, active filter, additional losses.***

УДК.631-37

## **АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК**

***В.Ю.Рамш, кандидат технічних наук  
ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”***

*Розглянуто методику вибору системи керування технологічними процесами біогазових установок як складової частини всієї технологічної системи.*

***Біогазові установки, матриця, система керування, стійкість регулювання.***

Взаємозв'язок енергетики та економіки вимагає насамперед економії енергії на всіх рівнях виробництва та споживання. Поставлена мета досягається тоді, коли приріст потреб у паливі та енергії на 75 % задовольняється за рахунок відновлюваних джерел енергії [1].

Застосування потужних біогазових установок (БГУ) дозволяє вирішити проблеми енергетичного, екологічного та агрохімічного характеру і може бути базовою основою для створення екологічно чистих джерел енергії.

Сучасні БГУ є складними технологічними системами, які мають підсистеми основного і допоміжного обладнання та мікропроцесорні системи керування і програмного забезпечення. Програмне забезпечення технологічних систем являє собою комплекс інформаційних матеріалів, необхідних для нормального функціонування системи, які використовуються для ведення технологічних процесів в оптимальних режимах. Режимні параметри технологічних систем безпосередньо залежать від вибору законів регулювання та параметрів налагодження системи керування, визначаючи тим самим її економічну ефективність.

**Мета досліджень** – розробка методики, яка дозволить формалізувати кількісні та якісні ознаки технологічних систем та створення алгоритмічної і програмної бази для її керування.

**Матеріали та методика досліджень.** Технологічні системи являють собою нелінійні об'єкти регулювання. Для розробки автоматичної системи керування, як правило, передбачається лінеаризація в межах базового режиму, при цьому заданий оптимізатором режим знаходиться в межах похибки лінеаризації.

**Результати досліджень.** Рух об'єктів керування під дією автоматичної системи керування можна описати рівнянням [3].

$$X^{t+1} - X^t = SX, \quad (1)$$

де  $X$  – вектор стовпчика координат об'єкта в просторі відхилення від заданого режиму;  $S$  – квадратична матриця, яка враховує властивості лінеаризованого об'єкта і системи керування.

Матрицю  $S$  розкладаємо на канонічні складові, а вектор  $X$  представляємо в головних осях простору станів. Таким чином рівняння (1) розкладається на  $m$  незалежних рівнянь:

$$X_q^{t+1} - X_q^t = \lambda_q X_q^t, \quad (2)$$

де  $X_q$  – координата вектора стану від заданого режиму по  $d$ -й головній осі;

$\lambda_q$  – власне число матриці  $S$ , яке відповідає її  $d$ -й канонічній складовій.

Розв'язок рівняння (2) буде мати такий вигляд:

$$X_q^{t+1} = (1 + \lambda_q) X_q^t. \quad (3)$$

Система керування буде стійкою, якщо вона стійка по всіх складових рівняння (3). Характер руху  $q$ -ї головної осі визначається значенням коефіцієнта  $1 + \lambda_q$  і не залежить від біжучого значення  $X_q^t$ .

Відхилення вектора стану від заданого значення буде затухати за умови:

$$(1 + \lambda_q) < 1. \quad (4)$$

Для задоволення нерівності (4) необхідно, щоб всі власні числа  $\lambda_q$  були від'ємними, тобто матриця  $S$  повинна бути від'ємно визначеною. При  $\lambda_q = 0$  складова вектора стану у відхиленнях від заданого режиму не затухає і не наростає. Теоретично така система стійка, але вона не має

асимптотичної стійкості. Практично управляти системою в цьому випадку неможливо, тому що через випадкові причини нульове значення  $\lambda_q$  може стати позитивним і система керування втратить стійкість. Найефективнішою системою керування буде при такому виборі її матриці  $C$ , коли всі власні числа матриці  $S$  в рівнянні (1) дорівнюють одиниці. Цього можна досягти за умови:

$$S=RC = -E, \quad (5)$$

де  $R$  – матриця параметрів лінеаризованого об'єкта;  $C$  – матриця коефіцієнтів зворотного зв'язку;  $E$  – одинична матриця.

Тоді всі коефіцієнти  $1 + \lambda_q = 0$  і відхилення від заданого режиму зникають за один сигнал. Умова (5) задовольняється, якщо матриця  $C$  основного регулятора визначається при його налагодженні шляхом обернення вимірюваної на об'єкті матриці  $R$ .

$$C = -\frac{1}{R}. \quad (6)$$

Такий розрахунок досягається внаслідок відмови від діагональної форми матриці  $C$ , тобто відмови від незалежного регулювання кожної координати фізичного режиму. Але найпростішу систему керування можна отримати, якщо прийняти її матрицю діагональною, яка складається з однакових елементів, що дає можливість замінити її одним числовим коефіцієнтом. Вплив такого коефіцієнта на стійкість системи можна показати, якщо зіставити характеристичні рівняння матриць:

$$R \det(R-\lambda)=0. \quad (7)$$

$$RC \det(RC-\lambda)=0. \quad (8)$$

$$E+RC \det(E+RC\lambda)=0. \quad (9)$$

Структура характеристичного рівняння будь-якої матриці описується виразом [1]:

$$(-\lambda)^m + S_1(-\lambda)^{m-1} + S_2(-\lambda)^{m-2} + \dots + S_{m-1}(-\lambda) + S_m = 0, \quad (10)$$

де  $m$  – порядок матриці;  $S_i$  – суми головних мінорів  $i$ -го порядку ( $1 \leq i \leq m$ ).

Процес перемноження матриці на коефіцієнт  $c$  призводить до перемноження всіх її елементів на цей коефіцієнт, тому при переході від матриці  $R$  до матриці  $RC$  в рівнянні (10) значення  $S_1$  перемножують на  $c$ , значення  $S_2$  – на  $c^2$  і т.д. Якщо одночасно розділити перший член рівняння (10) на  $c^n$ , другий на  $c^{n-1}$  і т.д., то в результаті розв'язування залишиться незмінним. Тому, власні числа матриці  $RC$  і  $R$  пов'язані співвідношенням

$$\lambda_q(RC) = c\lambda_q(R), \quad (11)$$

Аналітично можна показати, що:

$$\lambda_q(E+RC) = 1+c\lambda_q(R). \quad (12)$$

Таким чином, стійкість системи регулювання залежить від складу власних чисел матриці  $R$  та значень коефіцієнта  $c$ . Якщо всі власні числа  $\lambda_q(R) > 0$ , то існують такі від'ємні значення  $c$ , при яких всі власні числа ма-

триці  $S$  задовольняють умову стійкості. Якщо всі власні числа  $\lambda_q(R) < 0$ , тобто матриця  $R$  від'ємна визначена, то стійкість досягається при позитивних значеннях  $c$ .

Найбільше абсолютне значення  $c$ , при якому забезпечується стійкість позитивно визначеної матриці, можна визначити з виразу (4):

$$1 + c\lambda_{max} = -1, \quad (13)$$

де  $\lambda_{max}$  – найбільш власне число матриці  $R$ .

Найменше абсолютне значення  $c$  прямує до нуля. Тому, коефіцієнт  $c$  для позитивно визначеної матриці  $R$  повинен знаходитися в межах :

$$-\frac{2}{\lambda_{max}} < c < 0. \quad (14)$$

Аналогічно для від'ємно визначеної матриці  $R$  одержимо вираз:

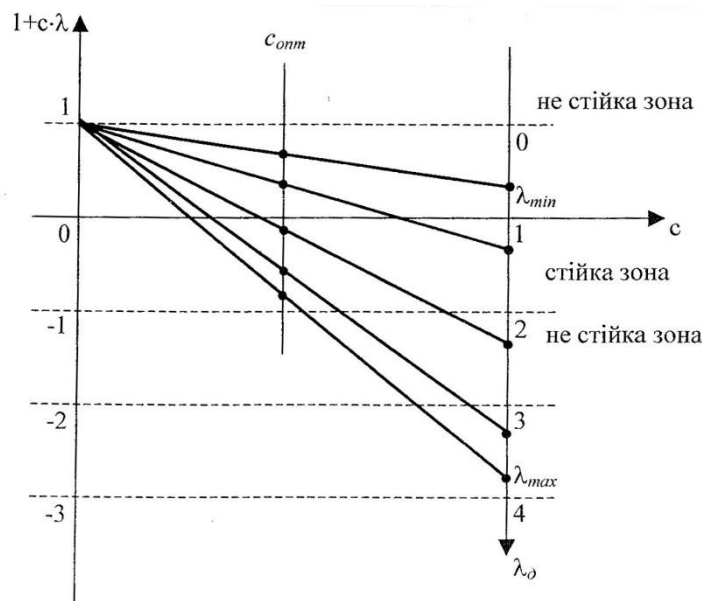
$$0 < c < -\frac{2}{\lambda_{max}}. \quad (15)$$

Оптимальний коефіцієнт  $c$ , при якому значення відхилень буде найшвидшим, залежить від двох крайніх значень у спектрі  $\lambda_q(R)$ : максимального  $\lambda_{max}$  і мінімального  $\lambda_{min}$ . При цьому необхідно, щоб відповідні канонічні складові затухали рівномірно, тобто  $-(1 - c\lambda_{max}) = 1 - c\lambda_{min}$ .

Звідси отримаємо оптимальне значення коефіцієнта  $c_{opt}$ :

$$c_{opt} = \frac{2}{\lambda_{max} + \lambda_{min}}. \quad (16)$$

За такої умови всі інші складові затухають швидше.



**Зміна спектра власних чисел при позитивно визначеній матриці  $R$  і від'ємному коефіцієнті  $c$**

Зміну спектра власних чисел  $R$ ,  $RC$  і  $E+RC$  при виборі коефіцієнта  $c$  показано на рисунку.

Спектр власних чисел матриці  $R$  показано точками на вертикальній лінії, яке відповідає значенню  $c = -1$ .

Похилі прями показують залежність чисел матриці  $S$  від величини  $c$ . Точками на вертикальній лінії показано значення власних чисел матриці  $S$ , які використовуємо при виборі коефіцієнта  $c$ .

Чим ближче розміщуються межі спектра матриці  $R$ , тим менше значення власних чисел  $c_{opt}$ , менші за модулем два крайні значення власних чисел матриці  $S$ , а тому швидше затухає процес у цілому.

Враховуючи те, що взаємодіючими елементами технологічних систем є окремі види технологічного обладнання, різні види сировини та енергоносіїв, то доводиться використовувати велику кількість інформаційних матеріалів.

Якщо простий варіант системи керування буде стійким, то її можна замінити простими регуляторами дискретної дії на окремих елементах технологічної системи.

### Висновки

1. Запропонована методика дозволяє формалізувати кількісні та якісні ознаки технологічних систем та створити алгоритмічну і програмну базу для їх керування.

2. Якщо простий варіант системи керування не підходить унаслідок того, що матриця  $S$  не є позитивно або негативно визначеною, а використання зворотної також непридатне, то необхідно підібрати таку матрицю  $c$ , яка залишаючись діагональною, забезпечить стійкість за рахунок використання різних значень елементів.

3. Проектуючи систему керування для конкретного об'єкта, потрібно створити його умовно повну модель. За допомогою цієї моделі розрахувати матриці  $R$  для різних режимів роботи, визначити границі спектрів власних чисел і розглянути варіанти узгодження регулятора з об'єктом. Враховуючи приблизно однакові затрати кращим можна вважати варіант, який забезпечує найбільший запас стійкості.

### Список літератури

1. Корчемний М.О. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / Корчемний М.О., Федорейко В.С., Щербань В.П. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 984 с.

2. Либерман Н.Г. Автоматизированное проектирование оптимальных технологических систем пищевой промышленности / Либерман Н.Г., Бурда Б.О., Полторан А.О. – М: Легкая и пищ. пром-сть, 1981. – 260 с.

3. Толков Ю.К. Системный анализ и методология автоматизированного проектирования непрерывных технологических производств / Ю.К. Толков. – М.: Академия народного хозяйства СССР, 1978. – 158 с.

*Рассмотрена методика выбора системы управления технологическими процессами биогазовых установок, как составной части всей технологической системы.*

***Биогазовые установки, матрица, система управления, стойкость регулирования.***

*It is shown choice method of process control of biogas installation as a part of the whole technological system.*

***Biogas installation, matrix, control system, adjusting firmness.***

УДК 631.53

## **ВПЛИВ МІКРОХВИЛЬОВОГО ОПРОМІНЕННЯ ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ НА УРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

***І.М. Соловей, кандидат технічних наук***

***І.С. Соловей, студент магістратури***

***ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”***

*Досліджено вплив мікрохвильового опромінювання насіння зернових культур з метою збільшення їх проростання та росту рослин. Встановлено позитивний вплив у підвищенні посівних якостей та врожайних властивостей насіння.*

***Мікрохвильове поле, час обробки, потужність, частота.***

Проблема забезпечення потреби країни продуктами рослинництва є досить гостра та актуальна. Збільшення виробництва й підвищення якості продукції можливо шляхом зменшення втрат врожаю від хвороб, грибків та бактерій при зберіганні, а також при максимальному використанні потенційних біологічних можливостей насіннєвого матеріалу. Інтенсивне застосування хімічних засобів для передпосівної обробки насіння, а також використання в землеробстві пестицидів, гербіцидів та мінеральних добрив одночасно з підвищенням продуктивності рослин неминує викликає цілий ряд небажаних явищ екологічного та економічного плану. Тому, вчені і практики ряду розвинених країн переходять на альтернативні системи землеробства [2].

Застосування отруйних хімікатів для обробки насіннєвого матеріалу призводить до непоправного екологічного збитку. Тому, на сучасному етапі розвитку сільського господарства все більше уваги приділяється використанню екологічно чистих методів обробки насіння сільськогосподарських культур з метою збільшення врожайності та покращення зберігання.

*Рассмотрена методика выбора системы управления технологическими процессами биогазовых установок, как составной части всей технологической системы.*

***Биогазовые установки, матрица, система управления, стойкость регулирования.***

*It is shown choice method of process control of biogas installation as a part of the whole technological system.*

***Biogas installation, matrix, control system, adjusting firmness.***

УДК 631.53

## **ВПЛИВ МІКРОХВИЛЬОВОГО ОПРОМІНЕННЯ ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ НА УРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

***І.М. Соловей, кандидат технічних наук***

***І.С. Соловей, студент магістратури***

***ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”***

*Досліджено вплив мікрохвильового опромінювання насіння зернових культур з метою збільшення їх проростання та росту рослин. Встановлено позитивний вплив у підвищенні посівних якостей та врожайних властивостей насіння.*

***Мікрохвильове поле, час обробки, потужність, частота.***

Проблема забезпечення потреби країни продуктами рослинництва є досить гостра та актуальна. Збільшення виробництва й підвищення якості продукції можливо шляхом зменшення втрат врожаю від хвороб, грибків та бактерій при зберіганні, а також при максимальному використанні потенційних біологічних можливостей насіннєвого матеріалу. Інтенсивне застосування хімічних засобів для передпосівної обробки насіння, а також використання в землеробстві пестицидів, гербіцидів та мінеральних добрив одночасно з підвищенням продуктивності рослин неминуче викликає цілий ряд небажаних явищ екологічного та економічного плану. Тому, вчені і практики ряду розвинених країн переходять на альтернативні системи землеробства [2].

Застосування отруйних хімікатів для обробки насіннєвого матеріалу призводить до непоправного екологічного збитку. Тому, на сучасному етапі розвитку сільського господарства все більше уваги приділяється використанню екологічно чистих методів обробки насіння сільськогосподарських культур з метою збільшення врожайності та покращення зберігання.

Електричні поля високої напруги є одними із перспективних засобів впливу на насіння сільськогосподарських культур. Одними із напрямів використання електричних полів високої напруги є передпосівна обробка насіння, обробка при зберіганні та переробці.

Результати сучасних досліджень показують, що ефективність методів стимуляції посівних якостей насіння залежить від узгодження технологічних і конструктивних параметрів установок та їх режимів роботи з фізіологічними показниками і біохімічним складом насіння. Насамперед увага приділяється електрофізичним методам, які передбачають обробку насіння електромагнітним, іонізуючим, світловим, ультрафіолетовим, лазерним випромінюванням тощо [3]. Але ці методи не набули промислового використання через недостатньо чітку відтворюваність отриманих результатів та низьку ефективність у боротьбі зі збудниками хвороб насіння, а деякі є дуже енергоємними. Одним із таких екологічно чистих способів передпосівної обробки насіння є опромінення мікрохвильовим полем (МХП) надзвичайно високих частот (НВЧ).

Обробка насіння мікрохвильовим полем надзвичайно високих частот у порівнянні з іншими методами стимуляції має ряд переваг: низьку собівартість, екологічну безпечність, високу ефективність [1, 3].

**Мета досліджень** – забезпечення ефективного та енергозберігаючого методу передпосівної обробки зернових для підвищення проростання, лабораторної схожості, стійкості рослин до хвороб, збільшення урожайності культур за рахунок оптимізації режимів передпосівного опромінювання насіння основних зернових культур мікрохвильовим полем.

**Матеріали та методика досліджень.** Опромінювання насіння мікрохвильовим полем (МХП) надзвичайно високих частот (НВЧ) проводили на лабораторному обладнанні в діапазоні 2,4–2,45 ГГц при витраті енергії 0,42 кВт/кг насіння протягом від 2 до 8 с. Лабораторні дослідження проводились на насінні озимої пшениці.

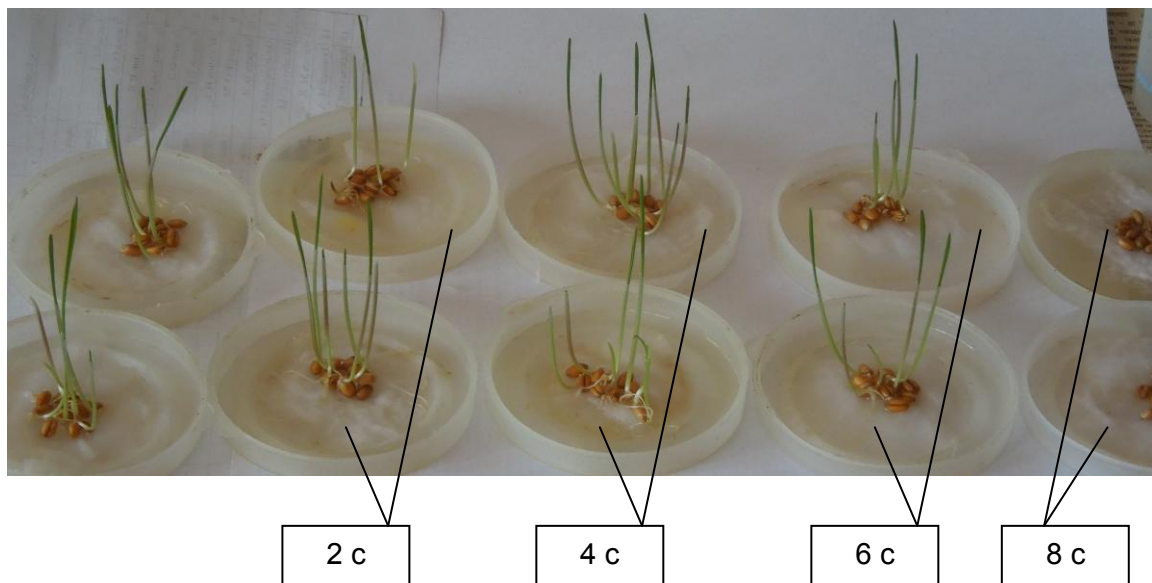
#### **Схожість насіння озимої пшениці після опромінювання МХП НВЧ у двох дослідях залежно від часу опромінення.**

Час опромінення, с	Схожість, %	
	1-й дослід	2-й дослід
0	50	60
2	50	70
4	90	80
6	60	50
8	0	0

**Результати досліджень.** Було виявлено ефект біостимуляції насіння електромагнітним надвисокочастотним МХ полем. Поряд з цим встанов-

лено, що опромінювання з підвищеною дозою опромінення призводить до пригнічення проростання насіння або загибелі зародка. Причому, ступінь пригнічення різних зразків, а також партій насіння відбувається по різному. Тому, щоб оздоровити ту чи іншу партію насіння потрібно опромінювати його у такому режимі, який не викликає суттєвого зниження схожості.

Нами були випробувані режими опромінювання насіння (0,42 кВт/кг насіння) озимої пшениці для двох зразків при різному часі опромінення. Результати досліджень зведено у таблицю. Приклад результатів обробки насіння озимої пшениці при різному часі опромінення МХП НВЧ наведено на рисунку.



**Схожість насіння озимої пшениці після опромінювання МХП НВЧ у двох дослідів залежно від часу опромінення**

У результаті проведення лабораторних досліджень було встановлено, що показники енергії проростання та лабораторної схожості насіння підвищувалися при менш жорсткому режимі опромінювання.

Так, за часом опромінення 4 с досягнута найбільша лабораторна схожість насіння, яка склала 90 % у першому досліді та 80 % у другому, що на 25 % перевищує варіант без опромінювання. При часі опромінення 2 с за показником схожості відмічено збільшення рівня схожості насіння на 10 %, а при 6 с незначне її пригнічення або значення на рівні контролю. Збільшення часу опромінювання до 8 с більше призводило до зниження схожості.

### **Висновки**

Результати проведених пошукових досліджень показали, що мікрохвильове поле позитивно впливає на схожість насіння та дає можливість доводити стан некондиційного насіння до кондиційного за схожістю, що є необхідною умовою сертифікації насіння. Оптимальним режимом опромінювання насіння озимої пшениці МХП НВЧ є режим з потужністю 0,42 кВт на 1 кг насіння та часом опромінення 4 с, що підвищує лабораторну схожість на 20 % та відповідно урожайність. Обробка зернової маси може

здійснюватися на певній відстані від установки. Запропонована електро-технологія вигідно відрізняється від існуючих. Вона має низьку енергоємність та дозволяє екологічно безпечно обробляти зернову продукцію.

### Список літератури

1. Вплив мікрохвильового поля на фітопатогени – збудники основних захворювань насіння злаків і соняшнику / Л.Г. Калінін, В.П. Тучний, С.А. Левченко, О.В. Бабаянц // Микроволновые технологи в народном хозяйстве. – Одесса, 2000. – Вып. 2– . – С. 66–73.
2. Кінрук М. О. Мікрохвильова стимуляція насіння: проблеми та перспективи її застосування / М. О. Кінрук, М. М. Гаврилюк // Микроволновые технологии в народном хозяйстве. – Одесса, 2007. – Вып. 6. – С. 36–38.
3. Лазаренко Б.Р. Электрическая защита растений от болезней / Б.Р. Лазаренко, И.Б. Горбатовская // Электронная обработка материалов. – 1966. – № 6(12). –С. 70 – 81.
4. Технологія мікрохвильової обробки насіння сільськогосподарських культур: методичні рекомендації / [Сорока В.І., Гаврилюк М.М., Шевчук М.Й. та ін.] – [2-ге видання] – К.: Аграрна наука, 2003. – 45 с.

*Исследовано влияние микроволнового облучения семян зерновых культур с целью увеличения их прорастания и роста растений. Установлено положительное влияние на повышение посевных качеств и урожайных свойств семян.*

***Микроволновое поле, время обработки, мощность, частота.***

*Presented studies on the effect of microwave irradiation of cereal seeds to increase seed germination and plant growth. The positive effect in improving the quality and yield of the sown seed properties.*

***The microwave field, processing time, power, frequency.***

УДК377.35:631.3-52

### МОДЕЛЬ ИННОВАЦИОННОГО КОМПОНЕНТА ПРОЕКТИРОВОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АГРОИНЖЕНЕРА

***Е.С. Якубовская, старший преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный  
технический университет», г.Минск***

*Показана важность освоения будущим агроинженером технологии инженерного проектирования на уровне, обеспечивающем внедрение новшеств. Обоснованы уровни инженерного проектирования, что позволило описать модель инновационного компонента проектировоч-*

---

© Е.С. Якубовская, 2014

здійснюватися на певній відстані від установки. Запропонована електро-технологія вигідно відрізняється від існуючих. Вона має низьку енергоємність та дозволяє екологічно безпечно обробляти зернову продукцію.

### Список літератури

1. Вплив мікрохвильового поля на фітопатогени – збудники основних захворювань насіння злаків і соняшнику / Л.Г. Калінін, В.П. Тучний, С.А. Левченко, О.В. Бабаянц // Микроволновые технологии в народном хозяйстве. – Одесса, 2000. – Вып. 2– . – С. 66–73.
2. Кінрук М. О. Мікрохвильова стимуляція насіння: проблеми та перспективи її застосування / М. О. Кінрук, М. М. Гаврилюк // Микроволновые технологии в народном хозяйстве. – Одесса, 2007. – Вып. 6. – С. 36–38.
3. Лазаренко Б.Р. Электрическая защита растений от болезней / Б.Р. Лазаренко, И.Б. Горбатовская // Электронная обработка материалов. – 1966. – № 6(12). –С. 70 – 81.
4. Технологія мікрохвильової обробки насіння сільськогосподарських культур: методичні рекомендації / [Сорока В.І., Гаврилюк М.М., Шевчук М.Й. та ін.] – [2-ге видання] – К.: Аграрна наука, 2003. – 45 с.

*Исследовано влияние микроволнового облучения семян зерновых культур с целью увеличения их прорастания и роста растений. Установлено положительное влияние на повышение посевных качеств и урожайных свойств семян.*

***Микроволновое поле, время обработки, мощность, частота.***

*Presented studies on the effect of microwave irradiation of cereal seeds to increase seed germination and plant growth. The positive effect in improving the quality and yield of the sown seed properties.*

***The microwave field, processing time, power, frequency.***

УДК377.35:631.3-52

### МОДЕЛЬ ИННОВАЦИОННОГО КОМПОНЕНТА ПРОЕКТИРОВОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АГРОИНЖЕНЕРА

***Е.С. Якубовская, старший преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный  
технический университет», г.Минск***

*Показана важность освоения будущим агроинженером технологии инженерного проектирования на уровне, обеспечивающем внедрение новшеств. Обоснованы уровни инженерного проектирования, что позволило описать модель инновационного компонента проектировоч-*

---

© Е.С. Якубовская, 2014

*ной деятельности как дополнительной компетентности, освоив которую специалист сможет решать задачи инновационного характера.*

**Профессиональная компетентность, инженерное проектирование, инновационный компонент.**

В рамках государственной программы возрождения и инновационного развития села поставлена задача обеспечения эффективного функционирования агропромышленного комплекса (АПК) [3]. Она может быть решена путем совершенствования и развития различных организационных форм инновационной деятельности, технического переоснащения производства, разработки и внедрения новых сортов сельскохозяйственных культур, высокопродуктивных пород животных и птицы, высокопроизводительных комплексов и машин, энерго- и ресурсоэкономных экологически безопасных технологий производства сельхозпродукции. В этих условиях существенно возрастает роль агроинженера, как реализатора и инициатора инновационных процессов в АПК по обеспечению продуктивной деятельности в условиях новых форм хозяйствования, повышению качества продукции и снижению трудовых и энергозатрат, обеспечению экономически выгодных технологий производства.

Зачастую условия учебного проектирования, реализуемые в техническом вузе, выводят выпускника лишь на уровень специалиста, действующего в рамках нормативных предписаний. Овладение проектировочной деятельностью на уровне реализации новшеств осуществляется в основном стихийно, на основе последипломного профессионального опыта, что серьезно тормозит развитие отрасли.

Таким образом, имеется противоречие между требованиями современного производства к уровню компетентности специалиста в области проектировочной деятельности, способного действовать в инновационных условиях развития АПК, и уровнем подготовки выпускника агротехнического вуза, между уровнем проектировочной компетентности выпускника аграрного вуза и несовершенством технологии ее становления и развития в период обучения.

Данные противоречия определяют педагогическую проблему, которая состоит в том, что в условиях высшего технического образования необходимо подготовить специалиста, способного решать профессиональные задачи инновационного характера.

**Цель исследований** – выявление сущности, структуры и содержания дополнительной проектировочной компетентности (инновационного компонента проектировочной деятельности), включение ее в содержание подготовки агроинженера, а также обоснование и разработка методики формирования данной компетентности.

**Материалы и методика исследований.** Рассмотрим основания для построения модели инновационного компонента проектировочной деятельности.

Историко-культурный анализ работ методологов проектирования [2,4,5, 10] позволил сформулировать сущность инженерного проектиро-

вания, как процесса научной разработки, необходимого для создания еще несуществующего предмета проектирования описания на определенном знаковом языке прообраза объекта, отвечающего совокупности требований. Данное описание реализуется путем преобразования исходных данных, тщательного и всестороннего исследования, выработки концептуального решения на основе анализа технической информации, неоднократного моделирования, оптимизации заданных характеристик объекта, неоднократного сравнения с целями проектирования, устранения некорректности первичного описания и приведения к детальному решению. Выработанное проектное решение является действительно эффективным, если характеризуется минимальными затратами (со стороны производителя и потребителя) и максимальной эффективностью выполнения предписанных функций в конкретных условиях включенности в окружающую среду. Таким образом, можно констатировать, что современное инженерное проектирование выступает сложным многоэтапным процессом с присущими ему характеристиками, технологией, результатами и критериями.

**Результаты исследований.** Характер проектной разработки определяется уровнем инженерного проектирования. Так, А.И. Половинкин выделяет в проектировании разработку, как привязку конкретного технико-технологического решения к новым условиям, и собственно проектирование, как детальную проработку новой технической идеи, реализуемой в объекте [8]. В.И. Муштаев выделяет в проектировании уровень, обеспечивающий изменения уже существующего объекта, и уровень, обеспечивающий создание нового [7].

Очевидно, цели, средства и компетентность специалиста влияют на качество и результат проектирования в соответствии со следующими уровнями: базовый (типовое проектирование), переходный (модификационное проектирование), инновационный (внедрение новшеств) и творческий (создание нового). Анализ литературных источников позволил нам систематизировать характеристики уровней современного проектирования в АПК (таблица). Кроме творческого, для освоения которого необходима принципиально другая система координат.

Базовый уровень инженерного проектирования может быть представлен типовым проектированием, когда идет привязка типового технического решения к иным заданным условиям. Здесь проектирование носит прикладной характер, обусловленный действиями в рамках решения алгоритмических задач методами параметрических расчетов. Технология проектирования в этом случае сводится к анализу условий, выявлению различий в параметрах решения, расчету, оценке решения на соответствие норм.

Но в рамках типового проектирования может возникнуть необходимость перехода к изменению отдельных элементов технико-технологического объекта (локально-модифицирующее проектирование), либо когда в целом обосновывается изменение объекта (системно-модифицирующий уровень). Здесь требуется не только провести анализ подсистем

тем, но и системы в целом в рамках качественно иной технологии, включающей помимо параметрических расчетов систему логических методов, а также оценку решения по системе определенных критериев.

### Уровни инженерного проектирования

Основания	Базовый	Переходный	Инновационный
Цель	Типовой проект	Модификация объекта	Внедрение новшества
Объекты	Технические и технологические объекты	Технические и технологические объекты, системы	Технические и технологические объекты, системы, системы встроенные в системы
Задачи	Алгоритмические, типовые	Алгоритмические, многовариантные	Эвристические, многовариантные
Методы проектирования	Параметрические расчеты	Аналогия, оптимизация	Проблематизация, сопоставление, моделирование, САПР, SWOT-технологии
Формы организации деятельности	Мотивированная должностными обязанностями	Индивидуальная и групповая	Команда, коллектив, объединенный единой целью
Результат	Повторение существующего	Улучшение существующего	Развитие и интенсификация производства
Критерий правильности	Соответствие норме	Соответствие требованиям производства	Соответствие развитию производства и его инфраструктуры

Деятельность на инновационном уровне охватывает обоснование и реализацию внедрения новшества. Здесь характер проектирования системный, интегративный. Методы проектирования включают и логические, и эвристические. Результат соотносится с актуальными требованиями развития производства и его инфраструктуры.

Более высокий уровень – творческий нами не рассматривается вследствие того, что требование его сформированности не является институциональным, а только желательным.

В условиях реализации программы инновационного развития Республики Беларусь [3] от агроинженера требуют решения задачи качественной и быстрой реализации инновации, которая должна быть решена уже на этапе проектирования. Данная задача разбивается на ряд подзадач проектирования, которые можно назвать метазадачами. К ним относятся: обеспечение совместимости внедряемого новшества с существующей технологической инфраструктурой производства; обеспечение релевантности внедряемого новшества требованиям экономичности, безопасности, эргономичности; обеспечение готовности персонала к работе в инновационных условиях.

Анализируя деятельность инженера в условиях реализации инновации, В.Ф. Взятыйшев показывает, что в этом случае значительно возрастает аналитическая и прогнозная составляющая деятельности [1, с. 11],

поскольку требуется отслеживать информацию о технико-технологических новшествах, моделировать поведение объекта, определять риски. Действительно в данных условиях требуется обеспечить оценку инновации и спрогнозировать условия ее включения в существующую практику производства, т.е. инженеру необходима аналитико-рефлексивная составляющая компетентности.

Показывая механизм проектно-конструкторской деятельности при реализации в проекте системной модификации [6, с. 19], А.А. Добряков указывает на необходимость анализировать условия включения модифицированного элемента в существующий технико-технологический объект, умение выбрать наиболее эффективный вариант реализации модернизированного объекта, просчитать его характеристики и определить условия его эксплуатации. Данная группа обобщенных умений определяет реконструктивную составляющую компетентности инженера.

Важным этапом реализации инновации является организация ее технической поддержки [9], что обеспечивается благодаря организационной составляющей компетентности.

Таким образом, для реализации в процессе проектирования задач инновационного характера требуется владеть *инновационным компонентом проектировочной деятельности*, под которым мы понимаем совокупность знаний, умений, навыков и качеств личности, позволяющих качественно, в оптимальные сроки обеспечить реализацию новшеств в рамках актуальных производственных задач.

Для уточнения структуры инновационного компонента проектировочной деятельности был использован метод бесед со специалистами, имеющими опыт реализации новшеств в структуре АПК.

Структура инновационного компонента проектировочной деятельности включает следующие компетенции:

1) *аналитико-рефлексивная* компетенция, обеспечивающая оценку и прогноз; ее содержанием является:

- умение поиска информации о технико-технологических инновациях в предметной области проектирования с использованием ИКТ;
- умение моделировать поведение встраиваемого объекта проектирования с использованием САПР;
- умение оценивать экономичность, безопасность, эргономичность реализуемой инновации;

2) *реконструктивная* компетенция, обеспечивающая адаптацию объекта проектирования к актуальным условиям; ее содержанием является:

- диагностика соответствия инновации актуальным технико-технологическим условиям на производстве;
- умение выбирать оптимальный вариант реализации инновации;
- умение дополнять проектную документацию рекомендациями и инструкциями по условиям эксплуатации инновации;

3) *организационная* компетенция, обеспечивающая оптимальные сроки и качество реализации инновации; ее содержанием является:

- умение организовать переподготовку персонала;

- умение вести гарантийную техническую поддержку процессов внедрения и эксплуатации инновации.

Методика формирования организационно-внедренческой компетентности должна включать следующие организационно-педагогические условия: соответствие технологии учебного проектирования технологии инженерного проектирования, реализующего задачи инновационного характера; включение обучаемых в ситуацию вариативного проектирования; организация педагогической среды, обеспечивающей активную позицию будущего инженера.

### **Выводы**

Изменение социально-экономических условий потребовало усиления инновационной составляющей в рамках подготовки современного агроинженера и, следовательно, пересмотра содержания профессиональной подготовки. В содержание подготовки агроинженера в процессе проектирования должен быть включен инновационный компонент проекторочной деятельности как дополнительная компетентность, под которой мы понимаем совокупность знаний, умений, навыков и качеств личности, позволяющих реализовать внедрение новшеств в рамках актуальных прикладных задач. В структуру инновационного компонента проекторочной деятельности входят аналитико-рефлексивная, реконструктивная и организационная компетенции. Формирование инновационного компонента проекторочной деятельности в процессе подготовки к инженерному проектированию обеспечит уровень подготовки специалиста, способного действовать в инновационных условиях развития АПК.

### **Список литературы**

1. Взятых В.Ф. Введение в методологию инновационной деятельности: учеб. для студентов вузов / В.Ф. Взятых; редкол. В.Н. Азазов и др. – М.: Европ. центр по качеству, 2002. – 81 с.
2. Гаспарский, В. Праксеологический анализ проектно-конструкторских работ / В. Гаспарский; пер. с польск. – М.: Мир, 1978. – 172 с.
3. Государственная программа возрождения и развития села на 2005-2010 годы: утв. Указом Президента Республики Беларусь № 150 от 25.03.2005 г. – Минск : Беларусь, 2005. – 96 с.
4. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход / Я. Дитрих; пер. с польск. – М.: Мир, 1981. – 456 с.
5. Джонс Дж. К. Методы проектирования / Дж. К. Джонс; пер. с англ. – [2-е изд., доп.]. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
6. Добряков А. А. Инженерно-психологическое обеспечение творческих форм проектно-конструкторской деятельности: автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра психол. наук: 19.00.03 / А.А. Добряков. – М., 1997. – 36 с.
7. Муштаев В.И. Основы инженерного творчества : учеб. пособие для вузов / В.И. Муштаев, В.Е. Токорев. – М.: Дрофа, 2005. – 254 с.
8. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества : уч. пособие для студентов вузов / А.И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
9. Трансфер технологий: Что это такое? / Государственный комитет по науке и технологиям [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ictt.by/Default.aspx?tabid=390>. Дата доступа: 08.04.2012.

10. Хилл П. Наука и искусство проектирования. Методы проектирования, научное обоснование решений / П. Хилл. – М.: Мир, 1973. – 263 с.

*Показано важливість освоєння майбутніми агроінженерами технології інженерного проектування на рівні, що забезпечує впровадження нововведень. Обґрунтовано рівні інженерного проектування, що дозволило описати модель інноваційного компонента проектувальної діяльності як додаткової компетентності, для освоєння якої фахівець зможе вирішувати завдання інноваційного характеру.*

**Професійна компетентність, інженерне проектування, інноваційний компонент.**

*In article importance of development by the future agroengineer of technology of engineering designing at the level providing introduction of innovations is shown. The substantiation of levels of engineering designing has allowed to describe model of an innovative component of designing activity as the additional competence which development will allow the expert to solve problems of innovative character.*

**Professional competence, engineering designing, innovative component.**

УДК 371:134 004

## **СПЕЦИФІКА ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ФОРМУВАННІ ЗМІСТУ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ЕНЕРГЕТИКІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА**

***В.Г. Подобайло, кандидат технічних наук***

***М.В. Потапенко, С.В. Гайдукевич, Н.П. Семенова, старші викладачі  
ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”***

*Розглянуто специфіку формування змісту фахової підготовки майбутніх енергетиків сільськогосподарського виробництва засобами інформаційно–комунікаційних технологій. Обґрунтовано доцільність проведення лабораторних практикумів з електротехнічних дисциплін, в яких поєднується натурний експеримент та спеціалізоване програмне забезпечення.*

***Фахова підготовка, інформаційно–комунікаційні технології, програмне забезпечення, навчальний процес.***

---

© В.Г. Подобайло, М.В. Потапенко,  
С.В. Гайдукевич, Н.П. Семенова, 2014

10. Хилл П. Наука и искусство проектирования. Методы проектирования, научное обоснование решений / П. Хилл. – М.: Мир, 1973. – 263 с.

*Показано важливість освоєння майбутніми агроінженерами технології інженерного проектування на рівні, що забезпечує впровадження нововведень. Обґрунтовано рівні інженерного проектування, що дозволило описати модель інноваційного компонента проектувальної діяльності як додаткової компетентності, для освоєння якої фахівець зможе вирішувати завдання інноваційного характеру.*

**Професійна компетентність, інженерне проектування, інноваційний компонент.**

*In article importance of development by the future agroengineer of technology of engineering designing at the level providing introduction of innovations is shown. The substantiation of levels of engineering designing has allowed to describe model of an innovative component of designing activity as the additional competence which development will allow the expert to solve problems of innovative character.*

**Professional competence, engineering designing, innovative component.**

УДК 371:134 004

## **СПЕЦИФІКА ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ФОРМУВАННІ ЗМІСТУ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ЕНЕРГЕТИКІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА**

**В.Г. Подобайло, кандидат технічних наук  
М.В. Потапенко, С.В. Гайдукевич, Н.П. Семенова, старші викладачі  
ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”**

*Розглянуто специфіку формування змісту фахової підготовки майбутніх енергетиків сільськогосподарського виробництва засобами інформаційно–комунікаційних технологій. Обґрунтовано доцільність проведення лабораторних практикумів з електротехнічних дисциплін, в яких поєднується натурний експеримент та спеціалізоване програмне забезпечення.*

**Фахова підготовка, інформаційно–комунікаційні технології, програмне забезпечення, навчальний процес.**

---

© В.Г. Подобайло, М.В. Потапенко,  
С.В. Гайдукевич, Н.П. Семенова, 2014

Характеризуючи сучасний стан та організацію педагогічного процесу вищої школи, багато вчених і дослідників зазначають неспроможність предметної системи навчання забезпечувати необхідну якість підготовки фахівців за умов прискореного науково – технологічного розвитку.

Загальноновизнаною є суперечність між застарілими формами, методами, засобами та потребами вищих навчальних закладів у впровадженні нових педагогічних програмних технологій [8]. Пошук найраціональніших форм і методів формування умінь та навичок у студентів є одним із найголовніших завдань вищої школи, від яких залежить комплексна та якісна підготовка майбутнього фахівця. Саме цей ресурс дає значне підвищення продуктивності навчальної діяльності педагога, зокрема через проектування, моделювання, організацію системи стимулюючих навчальних завдань і способів їх розв'язання, що є умовою ефективного саморозвитку особистості студента.

Пріоритетним напрямом вдосконалення системи підготовки фахівців у вищих навчальних закладах є використання засобів інформаційно – комунікаційних технологій (ІКТ). Мова йде про створення визначеного технічного середовища, в якому ключове місце посідають інформаційні технології, що виступають як предмет вивчення.

**Мета досліджень** – виявлення та аналіз найефективніших напрямів використання ІКТ у процесі фахової підготовки енергетиків сільськогосподарського виробництва, оцінювання можливостей застосування спеціалізованого програмного забезпечення для проведення лабораторних практикумів з електротехнічних дисциплін.

**Матеріали та методика досліджень.** Професійна підготовка фахівців вимагає переосмислення цілей, завдань, змісту і методів навчання відповідно до нових проблем і перспектив суспільного розвитку. Виникає необхідність відходу від класичних методик викладання навчальних дисциплін і наближення до проблемно – орієнтованих методів формування знань.

У працях О. Долженка, Ю. Нагіного, Н. Тализіної та ін. наголошується на важливості зближення системи фахової підготовки з системою фахової діяльності майбутніх випускників вищих навчальних закладів.

Досягнення якісно нового рівня у підготовці фахівців з вищою освітою неможливе без сучасних педагогічних та інформаційних технологій. Бути обізнаним у сучасних інформаційних технологіях – нагальна вимога до висококваліфікованого спеціаліста.

Багато педагогів і вчених ведуть ґрунтовні дослідження проблеми підвищення ефективності підготовки фахівців на засадах використання інформаційно – комунікаційних технологій. З них слід виокремити: В. Бикова, С. Величко, М. Голованя, Ю. Горошка, М. Жалдака, В. Ключка, С. Ракова, Ю. Рамського, І. Роберт, Н. Тверезовську, В. Шавальову та ін.

Однак аналіз науково – педагогічної літератури свідчить про те, що можливості інформаційних технологій у навчальному процесі використовуються недостатньо й безсистемно. В останні роки розвиток сучасних засобів навчання та розробка програмного забезпечення суттєво випере-

джають можливості створення повноцінних методик їх реалізації. Наслідком цього є неповна розробленість специфічних особливостей підготовки фахівців у вищій школі.

**Результати досліджень.** Завдання вищої освіти передбачають розвиток професійного, творчого та духового потенціалу молодої людини. Розвиток як нерівноважний процес здійснюється через взаємодію двох суперечливих тенденцій: збереження стабільності системи і пошуку нових ефективніших форм організації з метою кращого використання зовнішньої енергії [4]. Стосовно змісту підготовки фахівців це означає не лише ефективне використання енергії, а й ресурсів часу та інформації.

Як узагальнене поняття, фахівець визначає особу, яка професійно володіє знаннями, інструментарієм та навичками певного роду діяльності відповідно до освітньо – кваліфікаційного рівня. Кваліфікація є комплексною характеристикою якості праці фахівця, яка зумовлюється його освітнім рівнем і фаховою підготовкою за певною спеціальністю.

Нині неможливо студентів озброїти всіма знаннями, вміннями і навичками, які будуть потрібні для подальшої роботи. Тому постає питання не лише до визначення рівня й обсягу отриманих фахових знань, але й здобуття глобальних умінь і навиків – здатності вільно орієнтуватися в інформаційному просторі, швидко переймати досвід чи підвищувати свою кваліфікацію.

Можливості випускника щодо сприймання, обробки та усвідомлення інформації повинні бути не нижчими від кількості та різноманітності тієї інформації, що необхідна і достатня для ефективного виконання виробничих функцій. Зокрема ці можливості для фахівця зумовлені рівнем розвитку його рецепторів та відповідними інструментальними засобами, що забезпечують надходження, відбір, систематизацію та запам'ятовування потрібної інформації.

Наприклад, виникнення нетипових ситуацій, зумовлених суттєвою стохастичністю умов, можливими внутрішніми і зовнішніми протидіями нерідко вимагає зміни норм і тактичних цілей творчого розв'язання виробничих завдань. А тому, сучасному виробництву потрібні фахівці з такими якостями [1]:

1. вмінням бачити проблеми та їх причини;
2. здатністю виділяти основні напрями, вмінням зосереджуватись на головному;
3. здатністю до інтуїтивного виявлення ключової інформації в її уявному розмаїтті;
4. поєднанням абстрактного та логічного мислення.

Виходячи з вищенаведеного під змістом фахової підготовки будемо розуміти систему навчальної інформації та самостійної роботи, що забезпечує формування у студентів професійно значимих рис, засвоєння ними методології майбутньої діяльності та накопичення початкового досвіду виконання професійної функції відповідно до освітньо–кваліфікаційного рівня фахівця.

Активна діяльність студентів зумовлюється бажанням отримати знання та забезпечується мобілізацією резервних здібностей і відповідною мотивацією.

Враховуючи різноманітність і динаміку умов діяльності, важливо забезпечити гнучкість фахової підготовки, тобто її здатність адаптуватися до динаміки виробництва, умов і виробничих відносин [5].

Підготовка фахівців засобами інформаційно–комунікаційних технологій надає студентам можливість здобувати якіснішу освіту.

У дослідженнях В. Клочка [3] підкреслюється, що застосування інформаційних технологій повинно бути спрямовано на розв'язання проблеми усунення протиріч між освітою фахівця та його адаптацією до виробництва.

Так, у процесі викладання студентам фахових електротехнічних дисциплін постає цілий ряд завдань, серед яких слід виокремити:

підвищення ефективності навчання через мотивацію та активізацію сприйняття;

індивідуалізація навчання;

поступова реалізація навчального матеріалу на умовно – професійному рівні засвоєння;

систематизація знань;

створення середовища, сприятливого для навчання;

орієнтація на практичну діяльність.

Використання ІКТ дає можливість контролювати знання студентів на всіх етапах засвоєння навчального матеріалу, забезпечуючи цим необхідний зворотний зв'язок між викладачем і студентами, що сприятиме підвищенню рівня їх знань.

Ефективність застосування кожного із засобів інформаційних технологій можна розглядати з різних позицій: з точки зору можливості застосування за різних організаційних форм навчання, для самостійної роботи студентів; щодо зручності використання під час навчальних занять і в процесі підготовки до них; відповідності змісту навчальної дисципліни та форм і методів реалізації моделі об'єкта вивчення; в аспекті формування мотивації вивчення певної навчальної теми, розділу та предмета в цілому.

Як показує практика, шляхом вирішення поставлених завдань є оснащення навчальних закладів сучасними технічними засобами та створення мультимедійних педагогічних програмних засобів навчального призначення.

Мультимедійні продукти відкривають широкі можливості для різних аспектів навчання, зокрема дозволяють візуально відобразити інформацію, яку важко пояснити лише за допомогою словесних методів, наприклад, схеми, розрізи, конструктивні виконання, процеси, явища тощо. Їх доцільно застосовувати для ефективно організації проведення занять із врахуванням специфіки предмета, розвитку в студентів навичок дослідницької і творчої діяльності, наближення до реальних виробничих ситуацій за допомогою створення комп'ютерних моделей.

Мультимедійні технології можуть розглядатися, одночасно, як засоби навчання і засоби зв'язку [6].

Завдяки мережі Internet ІКТ розширюють доступ до великої кількості довідникового матеріалу та найновішої інформації.

Найсуттєвішими ознаками для оцінювання придатності мультимедійних технологій до використання у навчальному процесі є ступінь відповідності програмного забезпечення загально-дидактичним вимогам з урахуванням особливостей навчання [2].

Враховуючи досвід викладання спеціальних електротехнічних дисциплін та методичну доцільність слід виокремити найефективніші напрями використання ІКТ у процесі підготовки бакалаврів з енергетики сільськогосподарського виробництва:

- організація і проведення комп'ютерних експериментів з віртуальними моделями;

- обробка результатів експериментів;

- здійснення програмування і модельного керування технологічними об'єктами і системами;

- здійснення автоматизованого контролю організації навчальної діяльності;

- розробка педагогічних програмних засобів різноманітного призначення;

- здійснення цілеспрямованого пошуку інформації різноманітної форми в локальних і глобальних мережах, її накопичення, зберігання, обробка і передача;

- розробка методичних і дидактичних матеріалів з використанням мультимедійних ресурсів;

- розробка web – сайтів навчального призначення.

Процес інтенсифікації навчальної діяльності значною мірою визначається якістю використовуваних педагогічних програмних засобів [7]. Програмні засоби являють собою індивідуальні чи взаємопов'язані програмні продукти, до яких належать системи штучного інтелекту, системи машинної графіки, текстові редактори, електронні таблиці, системи керування базами даних, експертні системи, операційні системи, мови програмування, пакети прикладних програм та ін. Основними вимогами до таких програмних продуктів мають бути простота в користуванні, зручний інтерфейс та засоби візуалізації результатів експерименту.

Як відомо, інженерній діяльності притаманні дві основні тенденції: орієнтація на науку та орієнтація на практику. Наближення навчання до реальних виробничих ситуацій, моделювання конкретних виробничих процесів ефективно сприяють зацікавленості до вивчення фахових дисциплін.

Найзручнішим програмним засобом для постановки наукового експерименту є програмний комплекс MatLab з вбудованими інструментальними пакетами (Simulink, Power System Blockset, Stateflow та ін.). Застосування MatLab дає позитивні результати при вивченні дисциплін «Теоретичні основи автоматики», «Теоретичні основи електротехніки», «Цифрові системи керування», «Основи електропривода» тощо.

Важливою при підготовці бакалаврів з енергетики сільськогосподарського виробництва є орієнтація на виробничу діяльність. Випускники ма-

ють бути обізнані з сучасними системами електропостачання, автоматизації та електрифікації сільськогосподарського виробництва.

Оскільки на підприємствах постійно оновлюється і змінюється парк електротехнічного обладнання та засобів керування, тому постає завдання якісного та об'ємнішого подання цієї інформації студентам.

Нині у виробничому секторі взаємодія між оператором і технологічним процесом здійснюється за допомогою програмного забезпечення, що одержало загальну назву SCADA. SCADA – система (Supervisory Control And Data Acquisition System) – система збору даних і оперативного диспетчерського управління.

Основними функціями такої системи є збирання інформації про технологічний процес, забезпечення інтерфейсу з оператором, зберігання історії процесу і здійснення автоматичного керування процесом у тому обсязі, в якому це необхідно і можливо. Вибір SCADA-системи є складною задачею. В основному ознайомлення майбутніх фахівців з експлуатації і проектування автоматизованих систем на базі SCADA здійснюється на тематичних курсах різноманітних виробників цих систем. Найвідоміші SCADA – пакети, що застосовуються на виробництві: Genie, Genesis, Trace Mode, UltraLogic, WinCC. На цей час в навчальних планах ряду вищих навчальних закладів почали вводиться дисципліни, пов'язані з вивченням SCADA-систем. Так, у ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» при проведенні лабораторного практикуму з навчального курсу «Автоматизація технологічних процесів» широко використовуються продукти Trace Mode та UltraLogic.

Впровадження в систему навчання моделювання та аналізу конкретних виробничих ситуацій є необхідним завданням, спрямованим на підвищення рівня фахової підготовки. У процесі такого навчання закладаються основи фахового мислення нового типу, які допоможуть майбутньому спеціалісту приймати рішення в нестандартних ситуаціях, оцінювати позитивні й негативні наслідки їх реалізації [9].

Спираючись на досвід викладання фахових електротехнічних дисциплін та проаналізувавши навчальний план за напрямом підготовки 6.100101 «Енергетика та електротехнічні системи АПК» визначено, що найбільш доцільним і ефективним є проведення лабораторних практикумів навчальних курсів, в яких поєднується натурний експеримент та спеціалізоване програмне забезпечення (таблиця).

Доцільність застосування інформаційних технологій у навчальному процесі обумовлена тим, що вони допомагають налагодити процес взаємодії зі студентами, надають доступ до освітніх ресурсів у найзручнішому форматі, а також підвищують мотивацію студентів до навчання.

Водночас, впровадження передових інформаційних технологій вимагає виконання цілого ряду умов, серед яких наявність відповідного програмного забезпечення, вільне володіння викладачів і студентів комп'ютерною технікою, відведення певної частини робочого часу викладача на розроблення інформаційно – методичного забезпечення вивчення дисципліни, складання графіка роботи студентів з інформаційною системою.

## Спеціалізоване програмне забезпечення лабораторного практикуму з електротехнічних дисциплін

Назва дисципліни	Рекомендоване спеціалізоване програмне забезпечення лабораторного практикуму
Теоретичні основи електротехніки	MatLab, MathCad, Electronics Workbench,
Електроніка та мікросхемотехніка	Electronics Workbench, P-CAD, Accel Eda
Контрольно–вимірювальні прилади з основами метрології	LabView, Electronics Workbench, MatLab
Електротехнології і електроосвітлення	DIALux, Электрик, MatLab
Теоретичні основи автоматики	MatLab, LabView, MathCad
Цифрові системи керування	MatLab
Автоматизація технологічних процесів	Genie, Trace Mode, UltraLogic, LabView
Основи електропривода	MatLab
Основи електропостачання	MS Excel

На наш погляд, найважливішим залишається питання визначення і поєднання кращих можливостей інформаційних технологій, що мають місце у фаховій підготовці студентів з окремих дисциплін в існуючій системі освіти, з перспективним, поступовим оновленням системи підготовки фахівців інженерних спеціальностей у цілому.

### Висновки

Поєднання теоретичної й практичної підготовки, інтеграція навчання з науково–дослідною та експериментальною роботою сприяють фаховій спрямованості навчання, активному пошуку та впровадженню форм і методів навчання студентів педагогічними програмними засобами, формуванню цілісної особистості майбутніх фахівців. Лише за комплексної реалізації методичних, організаційних та психолого–педагогічних умов можна вирішити проблему підготовки висококваліфікованих спеціалістів з енергетики.

Серед чинників, що сприяють підвищенню ефективності фахової підготовки майбутніх енергетиків сільськогосподарського виробництва одним із пріоритетних є використання ІКТ, орієнтованих на виробничу діяльність. Тому, актуальним напрямом подальшої розробки окресленої проблеми є побудова моделі процесу викладання студентам фахових електротехнічних дисциплін з використанням сучасних інформаційних технологій навчання.

### Список літератури

1. Долженко О.В. Современные методы и технология обучения в техническом вузе / О.В. Долженко, В.Л. Шатуновский. – М.: Высш. шк., 1990. – 191 с.
2. Кирмайер Г. Мультимедия / Г. Кирмайер. – М.: Малип, 1994. – 256 с.
3. Ключко В.І. Застосування новітніх інформаційних технологій при вивченні вищої математики у технічному вузі / В.І. Ключко. – Вінниця: ВДТУ, 1997. – 300 с.

4. Моисеев Н.Н. Алгоритмы развития / Н. Н. Моисеев. – М.: Наука, 1987. – 303 с.
5. Нагірний Ю.П. Фахова підготовка інженерів: діяльнісний підхід. / Ю.П. Нагірний. – Львів: Вид-во ІНВП «Електрон», 1999. – 179 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, ч.2. – С. 185 – 191.
7. Роберт И.В. Современные информационные технологии в образовании./ И.В. Роберт. – М.: Школа – Пресс, 1994. – 187 с.
8. Селевко Г.К. Современные образовательные технологии / Г.К. Селевко. – М.: Народное образование, 1998. – 256 с.
9. Талызина Н.Ф. Управление процессом усвоения знаний. / Н.Ф. Талызина. – М.: МГУ, 1975. – 343 с.

*Рассмотрена специфика формирования содержания профессиональной подготовки будущих энергетиков сельскохозяйственного производства средствами информационно - коммуникационных технологий. Обоснована целесообразность проведения лабораторных практикумов по электротехническим дисциплинам, в которых сочетается натуральный эксперимент и специализированное программное обеспечение.*

***Профессиональная подготовка, информационно - коммуникационные технологии, программное обеспечение, учебный процесс.***

*The specific of forming maintenance of professional preparation bachelors is considered from energy of agricultural production by facilities informatively - communication technologies. The appropriateness of laboratory workshops on electrical disciplines, combining the full-scale experiment and specialized software.*

***Training, information – communication technology, software, educational process.***

## МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ

УДК 531.3

### ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ МАТЕРІАЛЬНОЇ ЧАСТИНКИ ПО ВНУТРІШНІЙ ПОВЕРХНІ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦИЛІНДРА, ЯКИЙ ЗДІЙСНЮЄ ОБЕРТАЛЬНИЙ І ПОСТУПАЛЬНИЙ РУХИ

**М.Б. Клендій, кандидат технічних наук  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»**

*Складено диференціальні рівняння руху матеріальної частинки по внутрішній поверхні вертикального циліндра, який обертається навколо своєї осі. В свою чергу всі точки осі циліндра здійснюють поступальний коливальний рух, описуючи горизонтальні кола. Рівняння розв'язано чисельними методами. Знайдено відносні швидкості та траєкторії частинок.*

**Вертикальний циліндр, коливальний рух, матеріальна частинка, траєкторія частинок, диференціальні рівняння.**

Цікавим з теоретичної точки зору і можливості практичного застосування є дослідження руху частинок при їх потраплянні в циліндричні отвори площини, яка здійснює коливальний прямолінійний або коловий рух, з подовженою вниз бічною поверхнею. Додаткове обертання циліндра навколо своєї вертикальної осі з різними за величиною і напрямом кутовими швидкостями ускладнює рух частинки.

Рух матеріальної частинки по площині, яка здійснює прямолінійний коливальний рух, ґрунтовно розглянув акад. П.М. Василенко у своїй монографії [2]. При цьому розглянуто як горизонтальну площину, так і похилу із горизонтальними коливаннями, поперечними коливаннями і коливаннями в напрямку нахилу площини. Акад. П.М. Заїка розглянув рух сферичної частинки по горизонтальній площині, яка здійснює поступальні коливання по колу [4]. Взагалі задача руху матеріальної частинки по площині, яка здійснює коловий коливальний рух, вперше була розв'язана М.Є. Жуковським у геометричній інтерпретації [3], аналітично вивчена Цзя-Шу-Хуаєм, узагальнена і поширена на випадки еліптичних коливань І.І. Блехманом [1]. Дослідження руху матеріальної частинки по внутрішній поверхні вертикального циліндра, який здійснює планетарний рух, наведено в праці [4] при розгляді привода циліндричних решет для сортування насіння сільськогосподарських культур, а також у праці [5].

**Мета досліджень** – вивчення закономірності руху матеріальних частинок по внутрішній поверхні вертикального циліндра, який здійснює обертальний рух навколо своєї осі, а точки самої осі в поступальному русі описують горизонтальні кола.

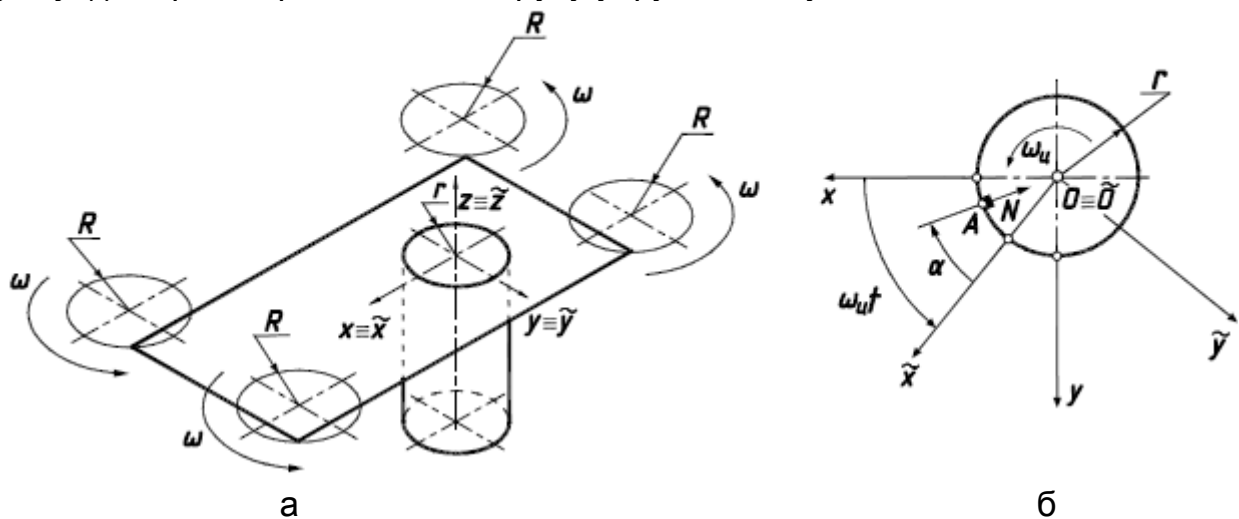
---

© М.Б. Клендій, 2014

**Результати досліджень.** При криволінійному поступальному русі площини всяка пряма, проведена в площині, залишається весь час паралельною своєму початковому положенню. Кожна точка описує однакову криволінійну траєкторію (наприклад, коло при коловому русі) і в кожен момент часу має однакові швидкості і прискорення. Якщо матеріальна частинка потрапляє на таку площину, то за певних умов вона буде ковзати по ній, тобто перебувати у складному русі. Абсолютна траєкторія частинки запишеться сумою відповідних складових у переносному і відносному рухах:

$$x = x_n + x_e; \quad y = y_n + y_e, \quad (1)$$

де  $x_n = x_n(t)$ ;  $y_n = y_n(t)$  – траєкторія переносного руху у функції часу;  $x_e = x_e(t)$ ;  $y_e = y_e(t)$  – траєкторія відносного руху у функції часу.



**Рис. 1. Схеми руху частинки по внутрішній поверхні циліндра, що здійснює поступальні коливання та обертається навколо своєї осі:** а – схема коливань горизонтальної площини із жорстко прикріпленим до неї вертикальним циліндром; б – положення частинки на поверхні циліндра у випадку додаткового його обертання навколо своєї осі (вигляд зверху).

Нехай горизонтальна площина здійснює коливальний поступальний рух так, що кожна її точка описує коло радіусом  $R$ . Частинка, рухаючись по площині, може потрапити на внутрішню поверхню вертикального циліндра, жорстко прикріпленого до площини (рис.1,а). Очевидно, що вона буде рухатися по внутрішній поверхні циліндра, отже до рівнянь (1) добавиться вертикальна складова  $z = z_e(t)$ . Закріпимо жорстко на площині декартову систему координат  $Oxyz$ , а на циліндрі – систему  $\tilde{O}\tilde{x}\tilde{y}\tilde{z}$  (на рис. 1,а вони збігаються). Переносний рух площини опишеться параметричними рівняннями:

$$x_n = R \cos \omega t; \quad y_n = R \sin \omega t, \quad (2)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання кожної точки площини і циліндра по колу радіусом  $R$ . Припустимо, що частинка буде рухатися по внутрішній поверхні циліндра так, що ковзатиме по циліндру в протилежний до кутової швидкості  $\omega$  бік. Її траєкторія у системі координат  $\tilde{O}\tilde{x}\tilde{y}\tilde{z}$  запишеться:

$$\begin{aligned}\tilde{x} &= r \cos(-\alpha) = r \cos \alpha; \\ \tilde{y} &= r \sin(-\alpha) = -r \sin \alpha; \\ \tilde{z} &= u,\end{aligned}\tag{3}$$

де  $r$  – радіус циліндра, м;  $\alpha = \alpha(t)$  – закономірність повороту частинки при ковзанні її по внутрішній поверхні циліндра – невідома функція часу;  $u = u(t)$  – закономірність ковзання частинки по внутрішній поверхні циліндра у вертикальному напрямку – теж невідома функція часу.

Ускладнимо рух площини із циліндром. Вважатимемо, що циліндр ще додатково обертається навколо осі  $Oz$  із кутовою швидкістю  $\omega_u$ . Тоді за певний час  $t$  циліндр разом із своєю системою  $\tilde{O}\tilde{x}\tilde{y}\tilde{z}$  повернеться на кут  $\omega_u t$  відносно нерухомої системи  $Oxyz$ . Частинка, ковзаючи в протилежний бік на кут  $\alpha$ , буде знаходитися в точці  $A$  (рис. 1,б). Рухома система відносно нерухомої буде повернута на кут  $\omega_u t$ , а точка  $A$  – на кут  $\omega_u t - \alpha$ . Отже, положення точки в проєкціях на нерухому систему координат запишеться:

$$\begin{aligned}x_e &= r \cos(\omega_u t - \alpha); \\ y_e &= r \sin(\omega_u t - \alpha); \\ z_e &= u.\end{aligned}\tag{4}$$

Абсолютна траєкторія буде сумою переносного (2) і відносного (4) рухів:

$$\begin{aligned}x &= R \cos \omega t + r \cos(\omega_u t - \alpha); \\ y &= R \sin \omega t + r \sin(\omega_u t - \alpha); \\ z &= u.\end{aligned}\tag{5}$$

При  $\omega_u = 0$  будемо мати частковий випадок, коли циліндр жорстко прикріплений до площини.

Після диференціювання рівнянь (5) за часом  $t$  знайдемо проєкції абсолютної швидкості частинки на нерухому систему координат  $Oxyz$ :

$$\begin{aligned}x' &= -R\omega \sin \omega t - r(\omega_u - \alpha') \sin(\omega_u t - \alpha); \\ y' &= R\omega \cos \omega t + r(\omega_u - \alpha') \cos(\omega_u t - \alpha); \\ z' &= u'.\end{aligned}\tag{6}$$

Диференціювання виразів (6) дасть проєкції абсолютного прискорення:

$$\begin{aligned}x'' &= -R\omega^2 \cos \omega t - r(\omega_u - \alpha'') \cos(\omega_u t - \alpha) + r\alpha'' \sin(\omega_u t - \alpha); \\ y'' &= -R\omega^2 \sin \omega t - r(\omega_u - \alpha'') \sin(\omega_u t - \alpha) - r\alpha'' \cos(\omega_u t - \alpha); \\ z'' &= u''.\end{aligned}\tag{7}$$

Складемо рівняння руху у вигляді  $m\overline{w} = \overline{F}$ , де  $m$  – маса частинки, кг;  $\overline{w}$  – вектор абсолютного прискорення;  $\overline{F}$  – результуючий вектор прикладених до частинки сил. Такими силами є сила ваги  $mg$  ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ), реакція  $N$  поверхні циліндра та сила тертя  $fN$  при ковзанні частинки по цилінд-

ру ( $f$  – коефіцієнт тертя). Всі сили потрібно спроекціювати на осі нерухо-  
мої системи координат.

Сила ваги спрямована вниз, отже її проекції запишуться:

$$\begin{cases} 0; \\ -mg \end{cases} \quad (8)$$

Реакція циліндра  $N$  перпендикулярна до його поверхні (рис. 1,б) і має проекції:

$$\begin{cases} N \cos(\varphi_u t - \alpha); \\ -N \sin(\varphi_u t - \alpha); \\ 0 \end{cases} \quad (9)$$

Оскільки сила тертя спрямована по дотичній до траєкторії відносно-  
го руху частинки в протилежний бік, знайдемо проекції вектора дотичної.  
Вони визначаються першими похідними рівнянь (3):

$$\begin{aligned} \tilde{x}' &= -r\alpha' \sin \alpha; \\ \tilde{y}' &= -r\alpha' \cos \alpha; \\ \tilde{z}' &= u'. \end{aligned} \quad (10)$$

Геометрична сума складових (10) дасть величину швидкості ковзан-  
ня частинки по поверхні циліндра у відносному русі:

$$v_s = \sqrt{\tilde{x}'^2 + \tilde{y}'^2 + \tilde{z}'^2} = \sqrt{r^2 \alpha'^2 + u'^2} \quad (11)$$

Одиничний вектор дотичної в проекціях на осі рухомої системи  $O\tilde{x}\tilde{y}\tilde{z}$   
одержимо діленням проекцій (10) на величину вектора (11):

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{r\alpha' \sin \alpha}{\sqrt{r^2 \alpha'^2 + u'^2}}; \\ -\frac{r\alpha' \cos \alpha}{\sqrt{r^2 \alpha'^2 + u'^2}}; \\ \frac{u'}{\sqrt{r^2 \alpha'^2 + u'^2}} \end{array} \right\} \quad (12)$$

Спроекціюємо вектор (12) на осі нерухомої системи координат  $Oxyz$ ,  
зважаючи на те, що вони повернуті одна відносно другої навколо спільної  
осі  $Oz \equiv \tilde{Oz}$  на кут  $\omega_u t$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{r\alpha' \sin(\varphi_u t - \alpha)}{\sqrt{r^2 \alpha'^2 + u'^2}}; \\ -\frac{r\alpha' \cos(\varphi_u t - \alpha)}{\sqrt{r^2 \alpha'^2 + u'^2}}; \\ \frac{u'}{\sqrt{r^2 \alpha'^2 + u'^2}} \end{array} \right\} \quad (13)$$

Розпишемо векторне рівняння  $m\bar{w} = \bar{F}$  у проекціях на осі нерухомої  
системи координат, взявши до уваги, що сила тертя  $fN$  спрямована  
вздовж одиничного вектора (13) у протилежний до нього бік:

$$\begin{aligned} mx'' &= -N \cos(\varphi_u t - \alpha) - fN \frac{r\alpha'}{\sqrt{r^2 \alpha'^2 + u'^2}} \sin(\varphi_u t - \alpha); \\ my'' &= -N \sin(\varphi_u t - \alpha) + fN \frac{r\alpha'}{\sqrt{r^2 \alpha'^2 + u'^2}} \cos(\varphi_u t - \alpha); \\ mz'' &= -mg - fN \frac{u'}{\sqrt{r^2 \alpha'^2 + u'^2}}. \end{aligned} \quad (14)$$

Підставимо в рівняння (14) другі похідні (проекції абсолютного прис-  
корення) із (7). До отриманої системи із трьох рівнянь входить три невідомі  
функції:  $N=N(t)$ ,  $\alpha=\alpha(t)$  і  $u=u(t)$ . Із перших двох рівнянь (14) знайдемо ви-

рази для  $N = N(\alpha', t)$  і  $\alpha'' = \alpha''(\alpha', t)$ , розв'язавши їх як систему відносно вказаних функцій. Вираз для сили тиску має вигляд:

$$N = m \left[ \omega_u^2 - \alpha'^2 + R\omega^2 \cos(\omega_u t - \omega t - \alpha) \right] \quad (15)$$

Вираз  $\alpha'' = \alpha''(\alpha', t)$  описується залежністю:

$$\alpha'' = \frac{R}{r} \omega^2 \sin(\omega_u t - \omega t - \alpha) - \frac{f\alpha'}{\sqrt{r^2 \alpha'^2 + u'^2}} \left[ \omega^2 \cos(\omega_u t - \omega t - \alpha) + r(\omega_u - \alpha') \right] \quad (16)$$

Після підстановки (15) і  $z'' = u''$  згідно з (7) в останнє рівняння системи (14) одержимо диференціальне рівняння для знаходження залежності  $u = u(t)$ :

$$u'' = -g - \frac{fu'}{\sqrt{r^2 \alpha'^2 + u'^2}} \left[ \omega^2 \cos(\omega_u t - \omega t - \alpha) + r(\omega_u - \alpha') \right] \quad (17)$$

Залежності (16) і (17) утворюють систему диференціальних рівнянь, які описують рух частинки по внутрішній поверхні вертикального циліндра, який обертається навколо своєї осі і додатково здійснює поступальний коливальний рух по колу в горизонтальній площині. Для її розв'язання було застосовано чисельні методи інтегрування за допомогою пакета *Simulink* системи *MatLab*.

Якщо циліндр не обертається навколо своєї осі (тобто  $\omega_u = 0$ ), то після стабілізації руху відносна швидкість частинки прямує до сталої величини, а траєкторією є гвинтова лінія на внутрішній поверхні циліндра, яка перетворюється у пряму на його розгортці. На рис.2 побудовано траєкторії руху частинки на розгортці циліндра для різних кутових швидкостей  $\omega$  протягом 2 с і рівних радіусах  $R = r = 0,1$  м.

Якщо надати циліндру обертального руху навколо своєї осі, то характер руху частинки зміниться. Відносна швидкість ковзання набуде періодичного характеру із зростанням і зменшенням аж до „залипання”. Відповідно зміниться і траєкторія руху, причому ці особливості проявляються в більшій мірі, коли кутова швидкість коливального руху площини за напрямком протилежна кутовій швидкості обертання циліндра. На рис. 3 показані траєкторії відносного руху частинки по внутрішній поверхні циліндра при протилежних напрямках кутових швидкостей  $\omega_u$  і  $\omega$  та різних їх співвідношеннях.

Як видно із рис. 3,а, збільшення кутової швидкості обертання циліндра навколо своєї осі суттєво впливає на форму траєкторії ковзання. Такий же результат отримано в праці [5], хоча там абсолютний рух точки циліндра розглядається, як сума двох обертальних, а у нашому випадку – як сума поступального та обертального рухів. Проте можна показати, що при певних вихідних умовах абсолютний рух точки циліндра в обох випадках буде однаковим.

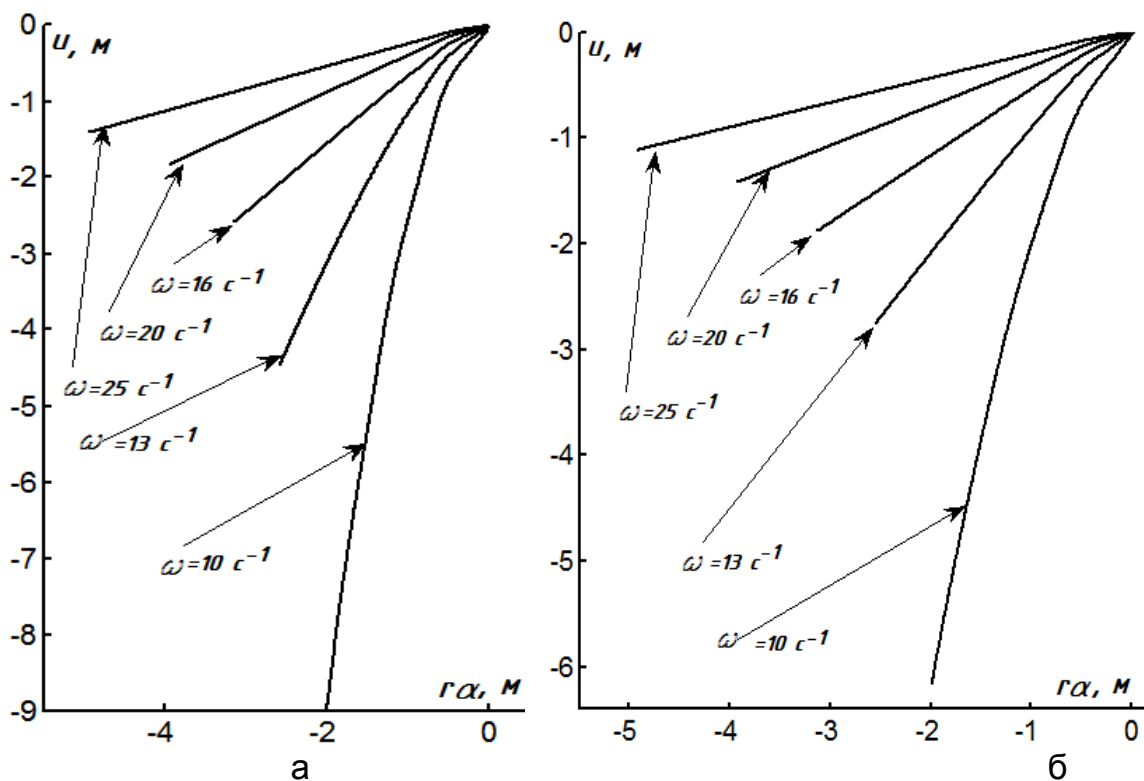


Рис. 2. Траєкторії відносного руху на розгортці циліндра при його коливальному русі по колах із різними кутовими швидкостями  $\omega$ :  
 а –  $f=0,3$ ; б –  $f=0,4$

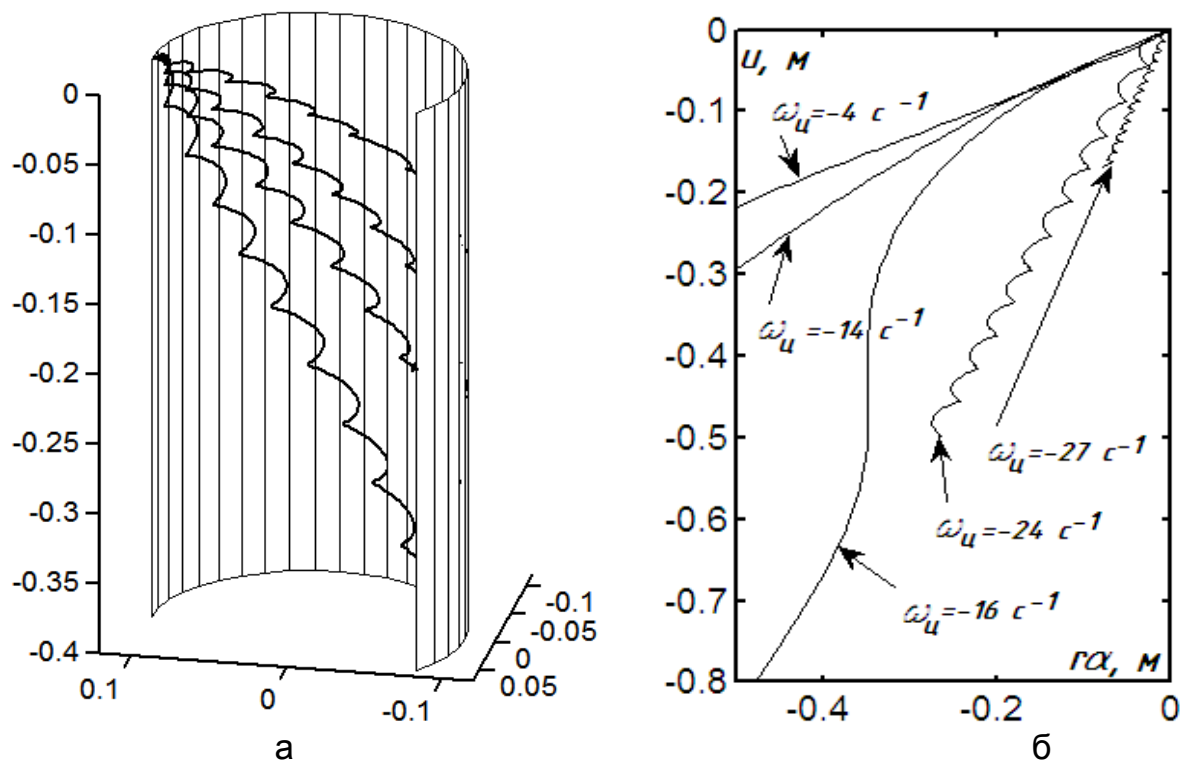


Рис. 3. Траєкторії відносного руху частинки по внутрішній поверхні циліндра при  $f=0,3$   $R=r=0,1$  м і різних напрямках кутових швидкостей  $\omega$  і  $\omega_u$ :  
 а –  $\omega_u/\omega = 1,5$ . Нижня траєкторія побудована при  $\omega_u = -24$  рад/с і  $\omega = 16$  рад/с; б – трансформація траєкторій на розгортці циліндра по мірі зростання  $\omega_u/\omega$

Для нашої моделі (див. рис. 1) всі точки площини описують коло радіусом  $R$ , отже і точка осі обертання циліндра теж рухатиметься по колу, тобто вісь циліндра обертатиметься навколо певної вертикальної осі із кутовою швидкістю  $\omega$  на відстані  $R$  від неї. Для того, щоб вона була на максимальній відстані  $R+r$  від осі обертання, необхідно надати циліндру обертального руху навколо своєї осі із такою ж самою кутовою швидкістю однакового напрямку, тобто  $\omega_u = \omega$ . Це відповідатиме планетарному руху циліндра, розглянутому в [5] за відсутності його обертання навколо своєї осі. При таких вихідних умовах абсолютний рух точки циліндра в обох випадках буде однаковим. Якщо ми при планетарному русі циліндра дамо йому ще і кутову швидкість обертання  $\omega_r$  (згідно з прийнятим позначенням у [5]), то для того, щоб абсолютний рух точки циліндра нашої моделі був таким же, його кутову швидкість потрібно збільшити на цю ж величину, тобто  $\omega_u = \omega + \omega_r$ , де  $\omega$  – кутова швидкість обертання осі циліндра навколо вертикальної осі для обох моделей. При такому переході з'явиться можливість порівнювати отримані результати, адже підходи для розв'язання цієї задачі застосовані різні.

У [5] показано, що для певних вихідних умов після стабілізації руху можна знайти аналітичний розв'язок системи диференціальних рівнянь із лінійною залежністю кута  $\alpha$  і лінійної відстані вздовж вертикальної твірної циліндра  $u$ . Це відповідає траєкторії ковзання частинки по гвинтовій лінії на внутрішній поверхні циліндра, тобто прямій на його розгортці.

При лінійній залежності  $\alpha = \alpha(t)$  її друга похідна буде дорівнювати нулю. До диференціального рівняння (16) входить синус і косинус однакового кута:  $\omega_u t - \omega t - \alpha$ . Позначимо його через  $\varphi$  і вважатимемо сталим, тому що тільки в такому випадку ми зможемо перетворити рівняння (16) у тожність:  $0=0$ . Отже, запишемо:  $\varphi = \omega_u t - \omega t - \alpha$ , звідки

$$\alpha = \omega_u t - \omega t - \varphi \quad (18)$$

Залежність  $u=u(t)$  запишемо у вигляді  $u=bt$ , де  $b$  – невідома поки що стала.

Диференціюючи залежність (18) і  $u=bt$  за параметром  $t$ , одержимо:

$$\alpha' = \omega_u - \omega; \quad \alpha'' = 0; \quad u' = b; \quad u'' = 0 \quad (19)$$

Підстановка виразів (19) і кута  $\varphi = \text{const}$  замість його виразу у (16) і (17) приводить до системи двох рівнянь із двома невідомими сталими  $\varphi$  і  $b$ :

$$\begin{aligned} \frac{R}{r} \sin \varphi - \frac{f(\omega_u - \omega)}{\sqrt{r^2(\omega_u - \omega)^2 + b^2}} (R \cos \varphi + r) &= 0; \\ g + \frac{fb\omega^2}{\sqrt{r^2(\omega_u - \omega)^2 + b^2}} (R \cos \varphi + r) &= 0. \end{aligned} \quad (20)$$

Розв'язком системи (20) є такі вирази:

$$\varphi = \text{Arccos} \frac{-rf^2\omega^2 + \sqrt{g^2 \left( + f^2 \right) + \omega^4 \left( R^2 + f^2 \left( R^2 - r^2 \right) \right)}}{R\omega^2 \left( + f^2 \right)},$$

$$b = - \frac{gr \left( \phi_u - \omega \right)}{\sqrt{f^2 \omega^4 \left( + R \cos \varphi \right)^2 - g^2}}. \quad (21)$$

Порівняємо отримані результати із результатами, одержаними в праці [5]. Вихідними даними в праці [5] було взято:  $k=2$ ;  $r=0,25$ ;  $f=0,3$ ;  $\omega=6,7$ ;  $\omega_r=2$ , що для нашої моделі відповідно буде:  $R=0,5$ ;  $r=0,25$ ;  $f=0,3$ ;  $\omega=6,7$ ;  $\omega_u=8,7$ . Підстановка цих даних у (21) дає:  $\varphi=0,1$ ;  $b=-2,17$ . Згідно з другим рівнянням (18) і другим виразом  $u=bt$  отримуємо аналітичний розв'язок системи диференціальних рівнянь (16) і (17):

$$\alpha = 2t - 0,1; \quad u = -2,17t. \quad (22)$$

У праці [5] ми маємо інші сталі в залежностях (22), однак вони є функціями не часу  $t$ , а довжини дуги  $s$  кола радіусом  $R$ . Між змінними  $t$  і  $s$  існує зв'язок через  $\omega$  і  $k=1/R$ :  $s=\omega t/k=\omega Rt$ . Наприклад, у праці [5] знайдена залежність  $u=-0,648s$ . Здійснюємо перехід:  $u=-0,648s=0,648 \cdot \omega Rt = -0,648 \cdot 6,7 \cdot 0,5t = -2,17t$ , що повністю збігається із нашим результатом.

За законом (22) відносного руху частинки можна визначити її швидкість за формулою (11) із врахуванням (19). Неважко знайти, що  $v_g=2,23$  м/с, що теж збігається із результатом, отриманим у [5], але за іншою формулою.

Слід зазначити, що аналітичний розв'язок системи диференціальних рівнянь (16) і (17) забезпечить рух частинки по гвинтовій лінії із постійною відносною швидкістю, якщо будуть забезпечені початкові умови (22), тобто потраплянням частинки в потрібну точку циліндра із необхідним значенням величини і напрямку відносної швидкості. Якщо ці умови забезпечені не будуть, то частинка буде рухатися за траєкторіями, зображеними на рис. 3 із змінною відносною швидкістю.

Таким чином, знайдений аналітичний розв'язок системи диференціальних рівнянь (16) і (17) є частковим і відображає характер руху частинки для окремого випадку при забезпеченні необхідних початкових умов. Проте знайдені залежності (21) не придатні для випадку, коли поверхня циліндра абсолютно гладенька, тобто коефіцієнт тертя  $f=0$ . В цьому випадку система диференціальних рівнянь (16) і (17) значно спрощується, перетворившись у два незалежних рівняння:

$$\alpha'' = \frac{R}{r} \omega^2 \sin \left( \phi_u t - \omega t - \alpha \right);$$

$$u'' = -g. \quad (23)$$

Друге рівняння (23) може бути проінтегровано і воно показує, що частинка в цьому випадку у вертикальному напрямку рухається рівноприскорено. Отже, рівняння (21) у цьому випадку не працюють, оскільки вони дають результат тільки для руху із сталою відносною швидкістю. Однак із них можна знайти граничні значення конструктивних параметрів та режимів руху, при яких відносний рух частинки по внутрішній поверхні циліндра

можливий із сталою швидкістю. Виходячи із того, що косинус кута  $\varphi$  у (21) не може бути більшим від одиниці, знаходимо мінімально можливе значення кутової швидкості  $\omega$ :

$$\omega > \sqrt{\frac{g}{f} (R+r)} \quad (24)$$

Отже, мінімальне значення кутової швидкості  $\omega$  коливального руху не залежить від кутової швидкості  $\omega_u$  обертання циліндра навколо своєї осі, а тільки від коефіцієнта тертя  $f$  і радіусів  $R$  і  $r$ .

### Висновки

Розв'язано задачу з визначення кінематичних характеристик частинки, її відносного руху по внутрішній поверхні циліндра, що одночасно перебуває у двох рухах: поступальному і обертальному. Циліндр обертається навколо своєї вертикальної осі, а сама вісь здійснює поступальний рух так, що кожна її точка описує коло в горизонтальній площині. Якщо обертальний рух циліндра відсутній, то такі ж кола описує кожна точка циліндра.

Показано, що при збільшенні кутової швидкості  $\omega_u$  обертання циліндра навколо вертикальної осі на величину  $\omega$  (кутова швидкість поступального переміщення точок осі по колу) можна перейти до планетарного руху циліндра, розглянутого в праці [5]. При абсолютно різних підходах при складанні диференціальних рівнянь (додавання поступального та обертального рухів у нашому випадку і додавання двох обертальних рухів у праці [5], а також при різних незалежних змінних в цих рівняннях) отримано однакові результати для однакових абсолютних рухів точок циліндра.

Також доведено, що за певних початкових умов (потрапляння частинки в потрібну початкову точку з необхідною величиною і напрямком відносної швидкості) вона рухатиметься із сталою відносною швидкістю ковзання по гвинтовій лінії циліндра.

Отримано аналітичний опис цього руху як частковий розв'язок системи диференціальних рівнянь. При недотриманні описаних початкових умов частинка рухатиметься за іншими траєкторіями, отриманих у цій статті і детально розглянутих у [5] із змінною швидкістю ковзання і з можливим тимчасовим «залипанням» в окремих точках траєкторії.

### Список літератури

1. Блехман И.И. Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. – М.: Наука, 1964. – 410 с.
2. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – К.: УАСХН, 1960. – 283 с.
3. Гортинский В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А.. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Колос, 1980. – 304 с.
4. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики / П.М. Заика. – К.: Изд-во УСХА, 1992. – 507 с.
5. Лінник М.К. Дослідження руху матеріальної частинки по внутрішній поверхні вертикального циліндра, який здійснює планетарний рух / М.К. Лінник, Д.Г.

Войтюк, С.Ф. Пилипака // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2008. –Вип. 92. –С. 49 – 62.

*Составлены дифференциальные уравнения движения материальной частицы по внутренней поверхности вертикального цилиндра, который вращается вокруг собственной оси. В свою очередь все точки оси цилиндра осуществляют поступательное колебательное вращение, описывая при этом горизонтальные окружности. Уравнения решены численными методами. Найдены относительные скорости и траектории частиц.*

***Вертикальний циліндр, колебательное вращение, материальная частица, траектория частиц, дифференциальные уравнения.***

*The differential equations of movement of a particle on an internal surface of the vertical cylinder which rotates round own axis are worked out. In turn all points of an axis of the cylinder carry out forward oscillatory rotation, describing thus horizontal circles. The equations are solved by numerical methods. Relative speeds and trajectories of particles are found.*

***The vertical cylinder, oscillatory rotation, a material corpuscle, trajectories of particles, differential equations.***

УДК 631.358.42

## **ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ЗАХИСНОГО ПРИСТРОЮ ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА ЗА КОНТАКТНИМИ НАПРУЖЕННЯМИ В ЕЛЕМЕНТАХ ЗАЧЕПЛЕННЯ**

***Р.Б. Гевко, доктор технічних наук  
Тернопільський національний економічний університет  
О.М. Клендій, інженер  
Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя***

*Наведено конструкцію шнекового транспортера із запобіжним пристроєм з розділеними в часі режимами буксування та осьового зміщення шнека для відновлення робочого стану конвейєра у випадку виникнення перевантаження. Проведено розрахунок за контактними напруженнями в елементах зачеплення на всіх етапах спрацювання запобіжного пристрою, рівень яких є визначальним показником, що впливає на інтенсивність зношення поверхонь контакту.*

***Шнековий транспортер, запобіжний пристрій, півмуфта, крутильний момент, канавка.***

---

© Р.Б. Гевко, О.М. Клендій, 2014

Войтюк, С.Ф. Пилипака // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2008. –Вип. 92. –С. 49 – 62.

*Составлены дифференциальные уравнения движения материальной частицы по внутренней поверхности вертикального цилиндра, который вращается вокруг собственной оси. В свою очередь все точки оси цилиндра осуществляют поступательное колебательное вращение, описывая при этом горизонтальные окружности. Уравнения решены численными методами. Найдены относительные скорости и траектории частиц.*

**Вертикальний циліндр, колебательное вращение, материальная частица, траектория частиц, дифференциальные уравнения.**

*The differential equations of movement of a particle on an internal surface of the vertical cylinder which rotates round own axis are worked out. In turn all points of an axis of the cylinder carry out forward oscillatory rotation, describing thus horizontal circles. The equations are solved by numerical methods. Relative speeds and trajectories of particles are found.*

**The vertical cylinder, oscillatory rotation, a material corpuscle, trajectories of particles, differential equations.**

УДК 631.358.42

## **ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ЗАХИСНОГО ПРИСТРОЮ ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА ЗА КОНТАКТНИМИ НАПРУЖЕННЯМИ В ЕЛЕМЕНТАХ ЗАЧЕПЛЕННЯ**

**Р.Б. Гевко, доктор технічних наук  
Тернопільський національний економічний університет  
О.М. Клендій, інженер  
Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя**

*Наведено конструкцію шнекового транспортера із запобіжним пристроєм з розділеними в часі режимами буксування та осьового зміщення шнека для відновлення робочого стану конвейєра у випадку виникнення перевантаження. Проведено розрахунок за контактними напруженнями в елементах зачеплення на всіх етапах спрацювання запобіжного пристрою, рівень яких є визначальним показником, що впливає на інтенсивність зношення поверхонь контакту.*

**Шнековий транспортер, запобіжний пристрій, півмуфта, крутильний момент, канавка.**

---

© Р.Б. Гевко, О.М. Клендій, 2014

Шнекові транспортери отримали широке застосування під час переміщення сипких і кускових матеріалів у різних виробничих процесах. Однак при транспортуванні матеріалів можливі заклинювання гвинтового робочого органу, що виникають у результаті наявності зазору між поверхнею обертання шнека та внутрішньою поверхнею направляючої труби. Для відновлення працездатності конвейєра необхідно відвести шнек в осьовому напрямку і звільнити заклинене ребро шнека від контакту з матеріалом, і в подальшому після зняття перевантаження шнек повинен повернутися в початкове положення для подальшого транспортування матеріалу в зону вивантаження.

Існують різні способи осьового відведення заклиненого гвинтового робочого органу – за допомогою реверсних механізмів, кулькових запобіжних муфт з профільним виконанням лунок, як при виході із зачеплення, так і при їх входженні [1, 2, 4, 8].

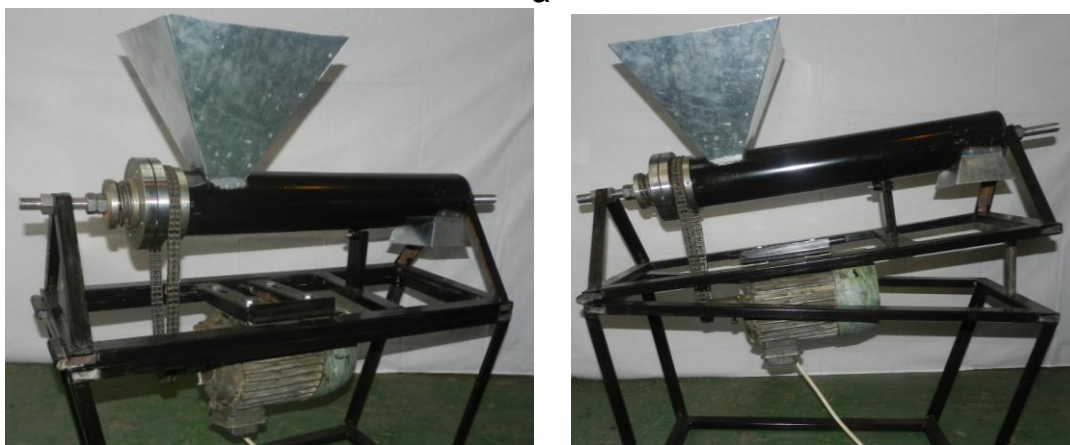
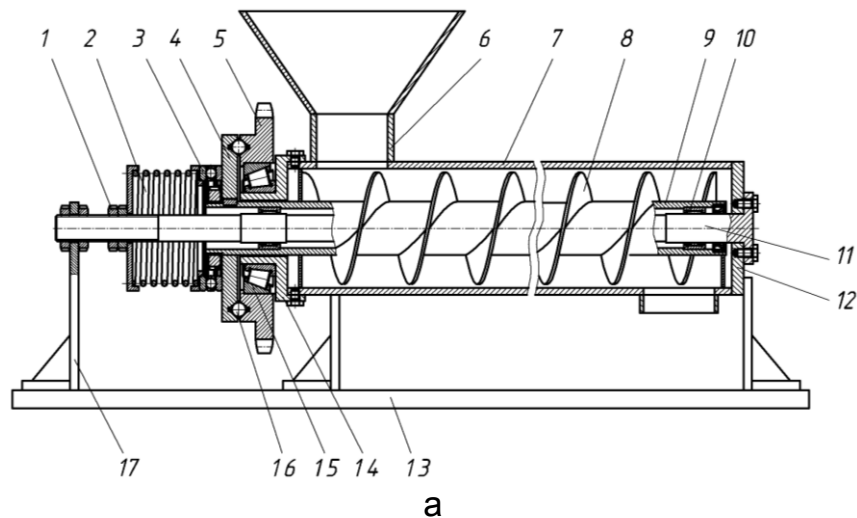
Аналіз досліджень показав, що основними недоліками існуючих запобіжних пристроїв, які забезпечують реверсування перевантажених робочих органів є їх конструктивна та технологічна складність, велика матеріаломісткість, ненадійність у роботі. Також вони мають великі габаритні розміри, а при їх роботі виникають значні динамічні навантаження, внаслідок сил інерції ведених ланок привода та робочого органу з автоматичним відновленням його початкового положення.

**Мета досліджень** – підвищення ефективності функціонування шнекових транспортерів в екстремальних умовах експлуатації шляхом розроблення та обґрунтування раціональних параметрів запобіжного механізму шнекового робочого органу, який забезпечить його автоматичне відведення при перевантаженні та подальше відновлення його початкового положення.

**Результати досліджень.** Для підвищення експлуатаційних показників гвинтових конвейєрів розроблено запобіжний пристрій для шнекового транспортера [6].

На рис. 1 зображені схема та загальний вигляд шнекового транспортера із запобіжним пристроєм. Він складається з рами 13, на якій розміщений бункер 6 і корпус транспортера 7. У корпусі транспортера розташований гвинтовий живильник 8, вал котрого виконаний у вигляді труби 9, в середину якої через підшипники 6 встановлено суцільний вал 11, жорстко закріплений правим фланцем 12 у корпусі. З лівої сторони суцільний вал жорстко закріплений у стояку 17. На лівому фланці 14 через радіально-упорний підшипник 15 встановлений запобіжний пристрій, виконаний у вигляді ведучої півмуфти 5, яка за допомогою кульок 16 взаємозв'язана з веденою півмуфтою 4. Півмуфта 4 жорстко закріплена на трубі живильника і за допомогою упорного підшипника 3 підтиснута пружним елементом 2. За допомогою гайки 1 відбувається регулювання крутного моменту, який передає запобіжний пристрій.

Робота шнекового транспортера здійснюється так. Сипкий матеріал через бункер потрапляє на шнек, який транспортує його в напрямку вивантаження. При потраплянні неподібнювальних тіл у зону між поверхнею шнека і внутрішньою поверхнею корпуса виникає заклинювання.



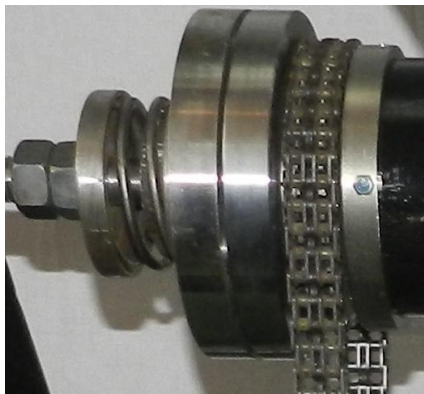
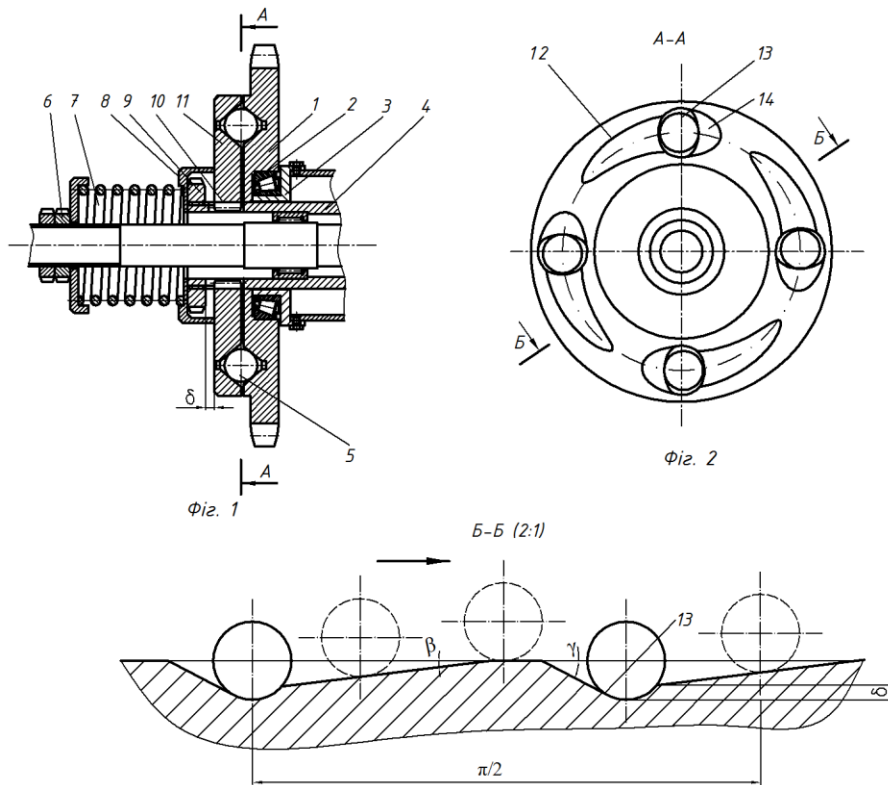
б

**Рис. 1. Конструктивна схема (а) та загальний вигляд (б) шнекового транспортера із запобіжним пристроєм**

З метою усунення заклинення робочого органу шнекового транспортера при передачі крутного моменту запропоновано використовувати запобіжний пристрій [5] з розділеними в часі режимами буксування та осьового зміщення шнека для відновлення робочого стану конвейєра, конструктивна схема якого та загальний вигляд робочої поверхні ведучої півмуфти показано на рис.2.

Запобіжний пристрій (рис. 2, а) складається із ведучої півмуфти 1, яка за допомогою радіально-упорного підшипника 2 встановлена у корпусі 3. На торцевій поверхні веденої півмуфти 11 закріплені кульки 5, які розміщені попарно на різних діаметрах. Кульки 5 входять у зачеплення з лунками 13 ведучої півмуфти 1. Ведена півмуфта 11 встановлена на шліцах 10 вала 4 з можливістю осьового зміщення. Між веденою півмуфтою 11 і гайкою 9 існує зазор, величина якого відповідає запобіжному режиму. Ведена півмуфта 11 підтиснута в сторону ведучої півмуфти 1 центральною пружиною 7, яка взаємодіє із гайкою 6 і втулкою 8. По діаметру розташування кульок 5 і лунок 13 із двох сторін кожної лунки на торцевій поверхні ведучої півмуфти 1 виконані похилі канавки робоча 12 і зворотна

14, причому кут нахилу робочої канавки є значно меншим кута нахилу зворотної канавки.



**Рис. 2. Конструктивна схема (а), загальний вигляд (б) запобіжного пристрою та загальний вигляд (в) робочої поверхні ведучої півмуфти**

Робота запобіжного пристрою здійснюється так. В процесі передачі крутильного моменту кульки 5 знаходяться в зачепленні з лунками 13 ведучої півмуфти 1, що забезпечує обертання всіх деталей пристрою і гвинтового органу. При виникненні перевантаження ведена півмуфта 11 зупиняється, а ведуча півмуфта 1, при цьому, продовжує обертатись, що призводить до виходу кульок 5 із зачеплення з лунками 13, оскільки кульки 5 рухаються по робочій канавці 12, яка має кут нахилу лунки на торцевій

поверхні ведучої півмуфти 1, то здійснюється плавне «м'яке» осьове відведення заклиненого шнека.

Внаслідок обертання ведучої півмуфти 1 кульки 5 заходять у попереднє положення, здійснюючи рух при цьому по зворотній канавці 14, яка має кут нахилу лунки на торцевій поверхні ведучої півмуфти 1, тобто відбувається плавне «м'яке» відновлення початкового стану.

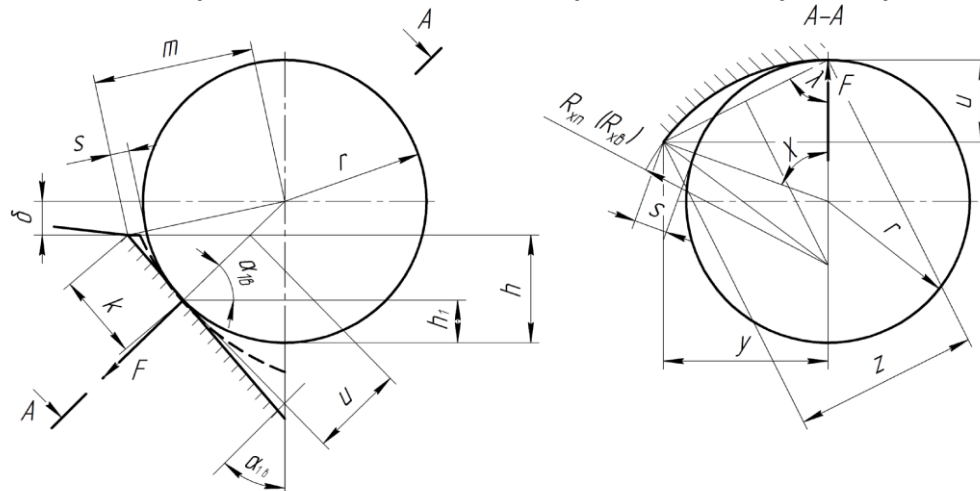
Для визначення конструктивних параметрів запобіжного пристрою шнекового транспортера проведений розрахунок за контактними напруженнями в елементах зачеплення на всіх етапах спрацювання.

На основі контактної задачі Герца встановлено взаємозв'язок між величиною контактних напружень та конструктивними параметрами елементів зачеплення запобіжного пристрою шнекового транспортера [7].

На першому етапі спрацювання запобіжного пристрою розглядаємо лунку із плоскою і ввігнутою поверхнями (рис. 3). В цьому випадку площина контакту тіл взаємодії має вигляд еліпса з півосями:

$$a = \alpha \sqrt[3]{\frac{3F(1-\mu^2)}{E \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_1'} + \frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho_2'} \right)}}; \quad b = \beta \sqrt[3]{\frac{3F(1-\mu^2)}{E \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_1'} + \frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho_2'} \right)}}, \quad (1)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона;  $F$  – зусилля в зоні контакту тіл взаємодії, Н;  $\rho_1; \rho_1'; \rho_2; \rho_2'$  – радіуси кривини тіл контакту, м;  $E$  – модуль пружності.



**Рис. 3. Розрахункова схема для визначення радіуса  $R_x$ , який описує радіус лунки в площині дії сили  $F$**

Значення коефіцієнтів  $\alpha$  і  $\beta$  наводяться в таблиці [7; с. 630] як функції допоміжного кута  $\psi$ , що розраховується за формулою

$$\cos \psi = \frac{\pm \sqrt{\left( \frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_1'} \right)^2 + \left( \frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_2'} \right)^2 + 2 \left( \frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_1'} \right) \cdot \left( \frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_2'} \right) \cos 2\theta}}{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_1'} + \frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho_2'}}, \quad (2)$$

де  $\theta$  – кут між головними площинами кривини тіл, в яких лежать менші радіуси  $\rho_1$  і  $\rho_2$ . Для конкретного випадку кут  $\lambda$  рівний  $90^\circ$ .

Величина  $R_{xn}$ , яка визначає радіус лунки з плоскою поверхнею в площині дії нормальної сили  $F$  розраховується із рівняння

$$R_{xn} = \frac{\sqrt{\left( (r+s) \sin \left( \arccos \left( \frac{\delta}{(r+s) \sin \alpha_1} \right) \right) \right)^2 + \left( \frac{r \sin \alpha_1 - \delta}{\sin \alpha_1} \right)^2}}{2 \cos \left( \arctg \left( \frac{(r+s) \sin \left( \arccos \left( \frac{\delta}{(r+s) \sin \alpha_1} \right) \right)}{\frac{r \sin \alpha_1 - \delta}{\sin \alpha_1}} \right) \right)}, \quad (3)$$

$$s = \sqrt{r^2 + \left( \frac{r \sin \alpha_1 - \delta}{\cos \alpha_1} \right)^2} - r$$

де  $s$  – величина зазору,

Величина  $R_{x\delta}$ , яка визначає радіус лунки з ввігнутою поверхнею в площині дії нормальної сили  $F$ , розраховується із рівняння

$$R_{x\delta} = \frac{\sqrt{\left( (r+s) \sin \left( \arccos \left( \frac{R\delta}{(r+s)((R-r) \sin \alpha_1 - h+r)} \right) \right) \right)^2 + \left( r - \frac{R\delta}{(R-r) \sin \alpha_1 - h+r} \right)^2}}{2 \cos \left( \arctg \left( \frac{(r+s) \sin \left( \arccos \left( \frac{R\delta}{(r+s)((R-r) \sin \alpha_1 - h+r)} \right) \right)}{r - \frac{R\delta}{(R-r) \sin \alpha_1 - h+r}} \right) \right)}, \quad (4)$$

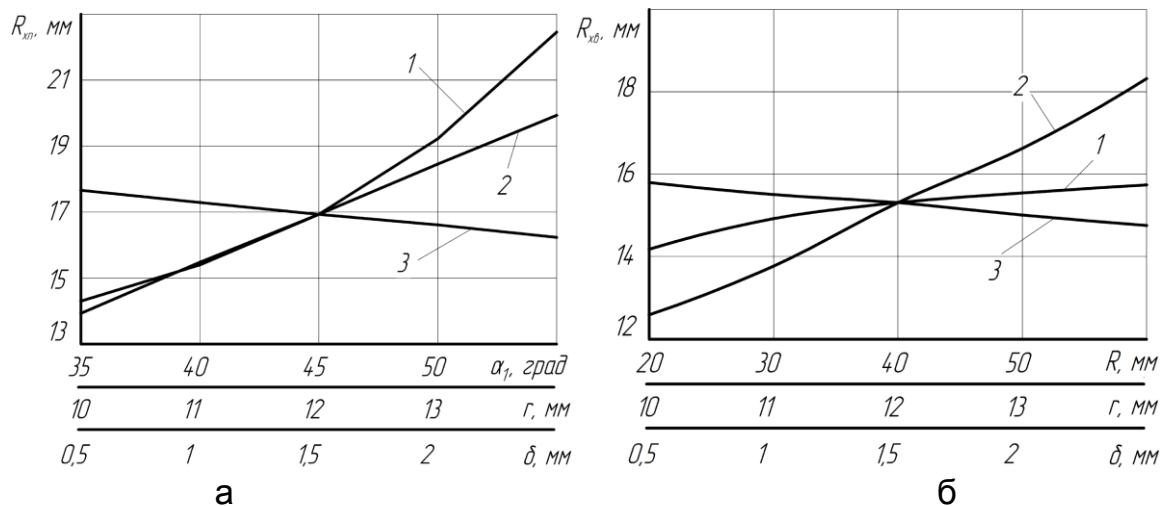
$$s = \sqrt{r^2 + \left( \frac{\frac{r}{R}((R-r) \sin \alpha_1 - h+r) - \delta}{\cos \left( \arcsin \left( \frac{(R-r) \sin \alpha_1 - h+r}{R} \right) \right)} \right)^2} - r$$

де  $s$  – величина зазору,

Таким чином, варіативним методом можна підібрати такі геометричні параметри торцевої поверхні ведучої півмуфти запобіжного пристрою, які при заданих зусиллях контакту, відповідних матеріалах дозволяють забезпечити умову, при якій максимальні напруження не перевищували б допустимі.

Далі визначаємо, яким чином максимальні напруження, що виникають у зонах контакту тіл взаємодії будуть залежати від умовного радіуса кривини  $R_{xn}$  і  $R_{x\delta}$ , а також зусилля контактної взаємодії.

На рис. 4, а, б показано графічні залежності відповідно  $R_{xn} = f(\alpha_1; r; \delta)$ ;  $R_{x\delta} = f(R; r; \delta)$ .



**Рис. 4. Графічні залежності радіуса кривини  $R_x$  :**

1 – від радіуса профілю криволінійної поверхні лунок  $R$ ; 2 – від радіуса кульки  $r$ ; 3 – від величини зазору  $\delta$

Із аналізу  $R_{xn} = f(\alpha_1; r; \delta)$  видно, що при незмінних інших параметрах збільшення кута нахилу поверхні лунки  $\alpha_1$  від  $35^\circ$  до  $55^\circ$  спричиняє зростання величини радіуса кривини  $R_{xn}$  на 56,9 %; при зростанні радіуса кульки  $r$  – значення радіуса кривини  $R_{xn}$  збільшується на 43,1 %; а при збільшенні величини зазору  $\delta$  від 0,5 мм до 2,5 мм –  $R_{xe}$  зменшується на 8,1 %. Отже, найбільший вплив на зміну величини радіуса кривини  $R_{xn}$  має параметр  $r$ . Тому, при аналізі напружень  $\sigma = f(R_{xn})$  величину  $R_{xe}$  змінюватимемо в діапазоні  $R_{xn} = 14,31 \dots 22,45$  мм.

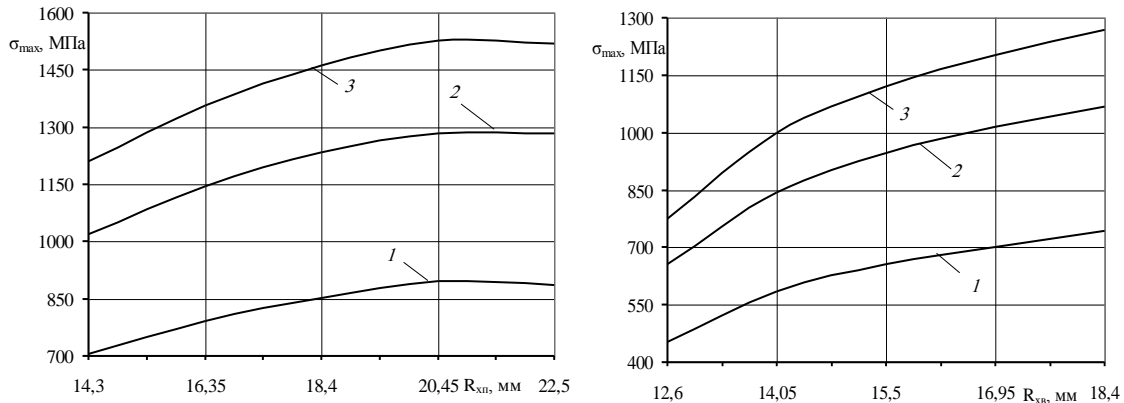
Із аналізу  $R_{xe} = f(R; r; \delta)$  видно, що при незмінних інших параметрах збільшення радіуса профілю криволінійної поверхні лунок  $R$  спричиняє зростання величини радіуса кривини  $R_{xe}$  на 11,3 %; при зростанні радіуса кульки  $r$  – значення радіуса кривини  $R_{xe}$  збільшується на 45,3 %; а при збільшенні величини зазору  $\delta$  –  $R_{xe}$  зменшується на 6,8 %. Отже, найбільший вплив на зміну величини радіуса кривини  $R_{xe}$  має параметр  $r$ . Тому при аналізі напружень  $\sigma = f(R_{xe})$  величину  $R_{xe}$  змінюватимемо в діапазоні  $R_{xe} = 12,61 \dots 18,33$  мм.

Застосовуючи табличні значення для визначення  $\alpha$  і  $\beta$  та рівняння (1) при встановленому значенні зусилля  $F$  максимальні напруження стиску в центрі площини контакту визначаються за відомою формулою:

$$\sigma_{\max} = 1,5 \frac{F}{\pi ab}. \quad (4)$$

На рис. 5 наведено графічні залежності максимальних контактних напружень  $\sigma_{\max}$  в елементах взаємодії від умовного радіуса кривизни  $R_x$ .

З їх аналізу можна встановити, що зростання величини  $R_x$  призводить до збільшення максимальних напружень. При збільшенні сили  $F$  у 5 разів виникає зростання максимальних напружень  $\sigma_{\max}$  лише на 18,3...18,6 %. Отже, при більшій силі взаємодії зростає площа контакту, що викликає зменшення інтенсивності зростання максимальних напружень  $\sigma_{\max}$ .



**Рис. 5. Графічні залежності максимальних контактних напру-**

**жень  $\sigma_{\max}$  від радіуса кривизни  $R_{xpl}$  (а) і  $R_{xв}$  (б) для  $F$ :**

1 –  $F = 100$  Н; 2 –  $F = 300$  Н; 3 –  $F = 500$  Н.

Розглядаємо другий етап спрацювання запобіжного пристрою, при якому кульки виходять із лунок на похилі плоскі поверхні ведучої півмуфти:

Вирази для визначення півосей еліпса мають вигляд:

$$a = 1,397n_a \sqrt[3]{\frac{Fr}{3E}}; \quad b = 1,397n_b \sqrt[3]{\frac{Fr}{3E}}, \quad (5)$$

де  $n_a$  і  $n_b$  - табличні коефіцієнти.

Канавка має в двох площинах криволінійну поверхню.

У цьому випадку для визначення напружень слід використовувати четверту теорію міцності [7]:

$$\sigma_{еквIV} = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2)} \leq [\sigma], \quad (6)$$

де  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  - головні напруження.

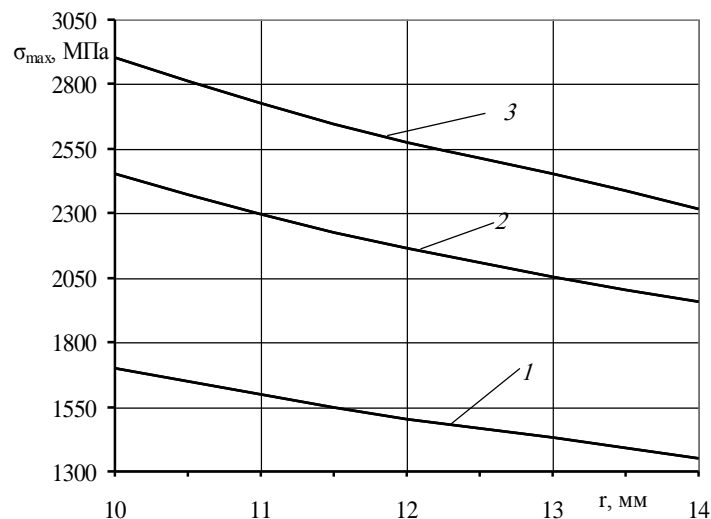
Виразивши  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  через максимальні напруження  $\sigma_{\max}$  у центрі площини контакту, запишемо умову міцності (6) у вигляді

$$\sigma_{\max} \leq \frac{1}{m}[\sigma] \leq [\sigma]_{\text{конт}}. \quad (7)$$

Значення коефіцієнта  $m$  наведено в таблиці [7; с. 631] залежно від співвідношення півосей еліпсної площини контакту  $b/a$ .

Використовуючи рівняння (4) та (5) при встановленому значенні зусилля  $F$ , визначаємо максимальні напруження стиску в центрі площини контакту.

На рис. 6 показані графічні залежності максимальних контактних напружень  $\sigma_{\max}$  в елементах взаємодії від радіуса  $r$  для різних значень сили  $F$ .



**Рис. 6. Графічні залежності максимальних контактних напружень  $\sigma_{\max}$  в елементах взаємодії на другому етапі спрацювання запобіжного пристрою від радіуса  $r$  для  $F$ :**

1 –  $F = 100$  Н; 2 –  $F = 300$  Н; 3 –  $F = 500$  Н.

З аналізу графічних залежностей встановлено, що зростання величини  $r$  призводить до зменшення максимальних напружень  $\sigma_{\max}$ .

При збільшенні сили  $F$  у 5 разів виникає зростання максимальних напружень  $\sigma_{\max}$  лише на 70,5...71,9 %. Отже, при більшій силі взаємодії на другому етапі роботи запобіжного пристрою площа контакту зростає повільніше, ніж на першому етапі.

Розглядаємо третій і четвертий етапи роботи запобіжного пристрою, при якому кульки з веденою півмуфтою спочатку переміщуються по похилій робочій канавці ведучої півмуфти, що спричиняє осьове відведення перевантаженого шнека, а потім – по похилих плоских поверхнях ведучої півмуфти в напрямку лунок для відновлення початкового положення всієї системи.

Площина контакту кульки і канавки буде мати вигляд круга із радіусом:

$$a = \sqrt[3]{\frac{3FrD(1-\mu^2)}{E(D+2r)}} \quad (8)$$

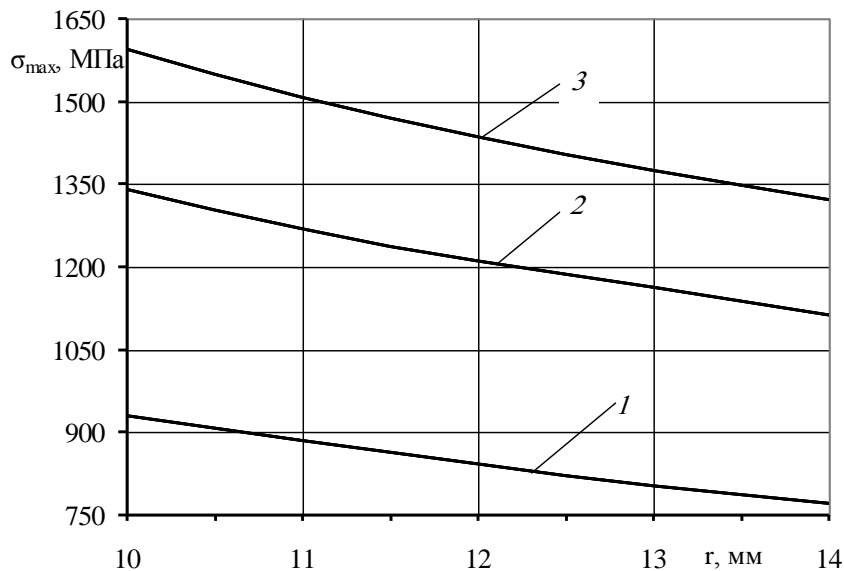
Використовуючи рівняння (8) при встановленому значенні зусилля  $F$  максимальні напруження стиску в центрі площини контакту визначаються за формулою (4).

На рис. 7 наведено графічні залежності максимальних контактних напружень  $\sigma_{\max}$  в елементах взаємодії від радіуса  $r$  для різних значень сили  $F$ .

З аналізу рис. 7 можна встановити, що зростання величини  $r$  призводить до зменшення максимальних напружень.

При збільшенні сили  $F$  у 5 разів виникає зростання максимальних напружень  $\sigma_{\max}$  лише на 71,6 %. Отже, при більшій силі взаємодії виникає повільне зменшення інтенсивності зростання максимальних напружень  $\sigma_{\max}$ .

Користуючись цими залежностями, а також таблицею 62 [7, с. 643] відносно допустимих максимальних напружень на площині контакту  $[\sigma]_{\text{конт}}$  підбирають матеріал півмуфт запобіжного пристрою шнекового транспортера, який забезпечує умову міцності за контактними напруженнями.



**Рис. 7. Графічні залежності максимальних контактних напружень  $\sigma_{\max}$  в елементах взаємодії на третьому і четвертому етапах спрацювання запобіжного пристрою від радіуса  $r$  для  $F$  :**  
 1 –  $F = 100$  Н; 2 –  $F = 300$  Н; 3 –  $F = 500$  Н.

### Висновки

На основі проведеного патентного огляду та аналізу існуючих конструктивно-технологічних схем захисних пристроїв гвинтових конвейерів запропоновано нову конструкцію запобіжного пристрою, яка дозволяє суттєво зменшити динамічні навантаження на привод, що значно підвищує довговічність та експлуатаційні характеристики шнекових транспортерів. Також проведено розрахунок за контактними напруженнями в елементах

зацеплення на всіх етапах спрацювання запобіжного пристрою, рівень яких є визначальним показником, що впливає на інтенсивність зношення поверхонь контакту.

### Список літератури

1. А.с. 1437597, МКИ F16D 7/04. Предохранительное устройство / В.К. Сулимов, Т.В. Сулимова, Р.Б. Гевко. – №4155124; заявл. 02.12.86; опубл. 15.11.88, Бюл. №42.
2. А.с. 1456342, МКИ B65G 33/24. Предохранительное устройство / Б.М. Гевко, Р.Б. Гевко. – №4102349; заявл. 11.05.89; опубл. 07.02.89, Бюл. №5.
3. Павлова І.О. Обґрунтування параметрів шарнірного робочого органу гвинтового конвейера: дис...канд. техн. наук: 05.05.05. / Павлова Ірина Олексіївна. –Тернопіль, 2006. – 140 с.
4. Павлова І.О. Силовий розрахунок шарнірних елементів гнучкого вала гвинтового робочого органу / І.О. Павлова, А.О. Вітровий // Вісник Тернопільського держ. техн. ун-ту. – Тернопіль: ТДТУ, 2003. – Т. 8. – С. 44–49.
5. Пат. №62097 Україна, МПК B65G 53/00. Шнековий транспортер із запобіжним пристроєм / Шинкарик М.І., Клендій О.М., Вітровий А.О.: заявник і власник патенту Тернопільський нац. економ. ун-т. – № u201101100, заявл. 01.02.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл. №15.
6. Пат. №71785 Україна, МПК F16D 7/00. Запобіжний пристрій / Гевко Р.Б., Клендій О.М.: заявник і власник патенту Тернопільський нац. економ. ун-т. - № u201200608; заявл. 19.01.2012; опубл. 25.07.2012, Бюл. № 14.
7. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. – [2-е изд.]. – К.: Наук. думка, 1988. – 736 с.
8. Поляков В.С. Справочник по муфтам / Поляков В.С., Барабаш И.Д., Ряховський О.А. – Л.: Машиностроение, 1979. – 344 с.

*Приведена конструкція шнекового транспортера с предохранительным устройством с разделенными во времени режимами буксования и осевого смещения шнека для восстановления рабочего состояния конвейера в случае возникновения перегрузки. Произведен расчет за контактными напряжениями в элементах зацепления на всех этапах срабатывания предохранительного устройства, уровень которых является определяющим показателем, влияющим на интенсивность износа поверхностей контакта.*

***Шнековый транспортер, предохранительное устройство, полумуфта, крутящий момент, канавка.***

*In this paper presents the design of screw conveyor with the safety device conveyor when moving material is suggested to use the safety device with split in time of regimes slipping and of axial displacement of the screw for automatic recovery your condition conveyor. Also, been calculated of contact*

*stresses in the elements of engagement at all stages of a safety device, the level of which is the determining factors affecting the rate of wear of the contact surfaces.*

***Screw conveyor, the safety device, half the clutch, torque, the groove.***

УДК 665.3:620.95

## **ОЦІНКА СИРОВИННОЇ БАЗИ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА ПРИ ДВОСТУПІНЧАСТОМУ ВІДЖИМАННІ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ**

***Г.А. Голуб, доктор технічних наук  
М.Ю. Павленко, асистент***

*Наведено оцінку сировинної бази виробництва дизельного біопалива при двоступінчастому віджиманні рослинної олії.*

***Рослинна олія, дизельне біопаливо, холодне віджимання, гаряче віджимання.***

На порозі XXI століття людство підраховує світові запаси нафти і прогнозує ресурси мінерального викопного палива приблизно на 50 років, цим самим усвідомлюючи, що необхідно шукати заміну звичним для нас нафтопродуктам, зокрема дизельному паливу. Для заміни дизельного палива використовують палива біологічного походження, а саме: рослинну олію та метиловий ефір. Реальною альтернативою традиційному дизельному паливу за своїми властивостями є дизельне біопаливо у вигляді метилового ефіру.

Основною сировиною для виробництва дизельного біопалива є рослинна олія, а саме: ріпакова, соняшникова, соєва, льняна, рижійова та інші. Будь-яку з цих олій можна використати для виробництва дизельного біопалива, лише потрібно правильно підібрати концентрації хімічних компонентів, які використовуються при його виробництві. Однак існує проблема при використанні рослинної олії як сировини для виробництва біодизельного палива, адже аграрії не завжди зацікавлені направляти зерно та олію на виробництво дизельного біопалива. Тому необхідно шукати шляхи зацікавленості виробників олії для її переробки під дизельне біопаливо.

Проблем при виробництві дизельного біопалива чимало. Наприклад, необхідно купувати зерно майже за собівартістю, удосконалювати технологічний процес виробництва дизельного біопалива, підвищуючи його економічну ефективність, не знижуючи якість виробленої продукції.

---

© Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко, 2014

*stresses in the elements of engagement at all stages of a safety device, the level of which is the determining factors affecting the rate of wear of the contact surfaces.*

***Screw conveyor, the safety device, half the clutch, torque, the groove.***

УДК 665.3:620.95

## **ОЦІНКА СИРОВИННОЇ БАЗИ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА ПРИ ДВОСТУПІНЧАСТОМУ ВІДЖИМАННІ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ**

***Г.А. Голуб, доктор технічних наук  
М.Ю. Павленко, асистент***

*Наведено оцінку сировинної бази виробництва дизельного біопалива при двоступінчастому віджиманні рослинної олії.*

***Рослинна олія, дизельне біопаливо, холодне віджимання, гаряче віджимання.***

На порозі XXI століття людство підраховує світові запаси нафти і прогнозує ресурси мінерального викопного палива приблизно на 50 років, цим самим усвідомлюючи, що необхідно шукати заміну звичним для нас нафтопродуктам, зокрема дизельному паливу. Для заміни дизельного палива використовують палива біологічного походження, а саме: рослинну олію та метиловий ефір. Реальною альтернативою традиційному дизельному паливу за своїми властивостями є дизельне біопаливо у вигляді метилового ефіру.

Основною сировиною для виробництва дизельного біопалива є рослинна олія, а саме: ріпакова, соняшникова, соєва, льняна, рижійова та інші. Будь-яку з цих олій можна використати для виробництва дизельного біопалива, лише потрібно правильно підібрати концентрації хімічних компонентів, які використовуються при його виробництві. Однак існує проблема при використанні рослинної олії як сировини для виробництва біодизельного палива, адже аграрії не завжди зацікавлені направляти зерно та олію на виробництво дизельного біопалива. Тому необхідно шукати шляхи зацікавленості виробників олії для її переробки під дизельне біопаливо.

Проблем при виробництві дизельного біопалива чимало. Наприклад, необхідно купувати зерно майже за собівартістю, удосконалювати технологічний процес виробництва дизельного біопалива, підвищуючи його економічну ефективність, не знижуючи якість виробленої продукції.

---

© Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко, 2014

Вирішенням цих проблем при виробництві дизельного біопалива в умовах сільського господарства займалися В.О Дубровін. [1], В.В. Чуба [3], С.В. Драгнєв [6], І.П. Масло, В.П. Заборський та М.І. Вірєвка [4, 5]. Вони роками розробляли та покращували обладнання для виробництва дизельного біопалива шляхом удосконалення технологічних ліній, обладнання для естерифікації рослинної олії в дизельне біопаливо та спрощенням певних технологічних процесів.

Нами в роботах [2, 7] проаналізовано й порівняно промислову та агропромислову технологію виробництва дизельного біопалива. Агропромислова технологія виробництва дизельного біопалива – це спрощена технологічно промислова технологія, яка адаптована під невеликі фермерські виробництва дизельного біопалива для власного використання. У той же час, питання збільшення економічної ефективності виробництва дизельного біопалива з рослинних олій залишається відкритим.

**Мета досліджень** - оцінка сировинної бази виробництва дизельного біопалива при двоступінчастому віджиманні рослинної олії.

**Матеріали та методика досліджень.** Дослідження проведено з використанням методів балансу мас та визначення техніко-економічних показників.

**Результати досліджень.** Виробництво рослинної олії шляхом пресування повинно включати в себе перше (холодне) віджимання та друге (гаряче) віджимання, згідно зі схемою наведеною на рис. 1.

Технологічна схема агропромислового виробництва дизельного біопалива виглядає так: отримане зерно очищають від різних домішок, сушать до заданої норми вмісту вологи, потім подають на прес, на якому під тиском без нагріву отримують неочищену олію першого (холодного) віджимання та макуху з високим вмістом олії, яку піддають другому (гарячому) віджиманню.

При цьому отримують неочищену олію та макуху з низьким вмістом олії.

Олію холодного віджимання очищають шляхом фільтрації або осадження, піддають вінтерізації, повторно фільтрують або осаджують та використовують для харчових потреб. При цьому отримують неочищену олію та макуху з низьким вмістом олії.

Олію холодного віджимання очищають шляхом фільтрації або осадження, піддають вінтерізації, повторно фільтрують або осаджують та використовують для харчових потреб. Олію гарячого віджимання очищають шляхом осадження, піддають вінтерізації для видалення восків. Потім її повторно очищають шляхом осадження та використовують як сировину для виробництва дизельного біопалива. А саме, при додаванні метилату калію проводять процес естерифікації, розділяють на фракції. Отриманий метиловий ефір очищають шляхом осадження та відкачують у резервуар для зберігання дизельного біопалива.

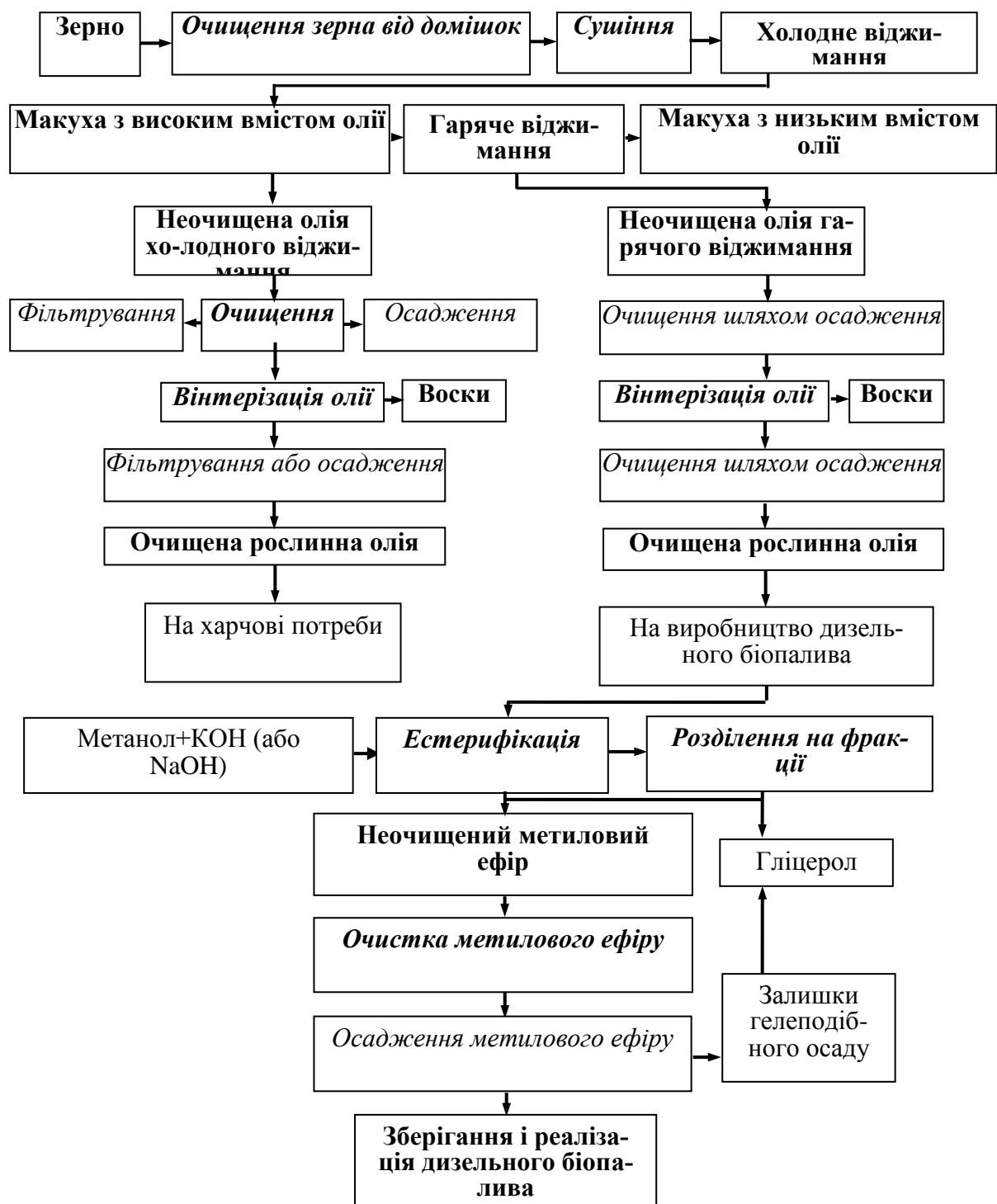


Рис. 1. Схема агропромислового виробництва олії холодного віджимання та дизельного біопалива із олії гарячого віджимання

При пресуванні маємо рівняння балансу маси олії:

$$M_o = M_{ox} + M_{ог}, \quad (1)$$

де  $M_o$  – загальна маса олії, яку можна одержати при пресуванні зерна олійної культури, кг;  $M_{ox}$  – маса олії першого (холодного) віджимання, кг;  $M_{ог}$  – маса олії другого (гарячого) віджимання, кг.

Помноживши рівняння балансу маси олії на ціну кожного компонента, одержимо:

$$M_o C_o = M_{ox} C_{ox} + M_{or} C_{or}, \quad (2)$$

де  $C_o$  – ціна олії, грн./л.;  $C_{ox}$  – ціна олії першого (холодного) віджимання, грн./л.;  $C_{or}$  – ціна олії другого (гарячого) віджимання, грн./л.

Розділивши на масу зерна олійної культури, одержимо:

$$\frac{M_o}{M} C_o = \frac{M_{ox}}{M} C_{ox} + \frac{M_{or}}{M} C_{or} \quad \text{або} \quad k_o C_o = k_{ox} C_{ox} + k_{or} C_{or}, \quad (3)$$

де  $k_o$  – загальний коефіцієнт виходу олії, %;  $k_{ox}$  – коефіцієнт виходу олії першого (холодного) віджимання, %;  $k_{or}$  – коефіцієнт виходу олії другого (гарячого) віджимання, %.

Врахувавши, що  $k_{or} = k_o - k_{ox}$ , із рівняння (3) можна записати:

$$k_o C_o - k_{ox} C_{ox} = (k_o - k_{ox}) C_{or}. \quad (4)$$

Звідки ціна олії другого (гарячого) віджимання становитиме:

$$C_{or} = \frac{k_o C_o - k_{ox} C_{ox}}{k_o - k_{ox}}. \quad (5)$$

Залежність (5) для визначення ціни олії другого (гарячого) віджимання у графічному вигляді наведена на рис. 2. Аналіз показує, що ціна олії другого (гарячого) віджимання зменшується при збільшенні ціни першого (холодного) віджимання та при збільшенні коефіцієнта виходу олії холодного віджимання. На графіку є також зона нульових значень ціни олії другого (гарячого) віджимання при ціні олії холодного віджимання від 12 грн./л до 16 грн./л та при коефіцієнті виходу олії першого (холодного) віджимання в межах від 20 до 26 %.

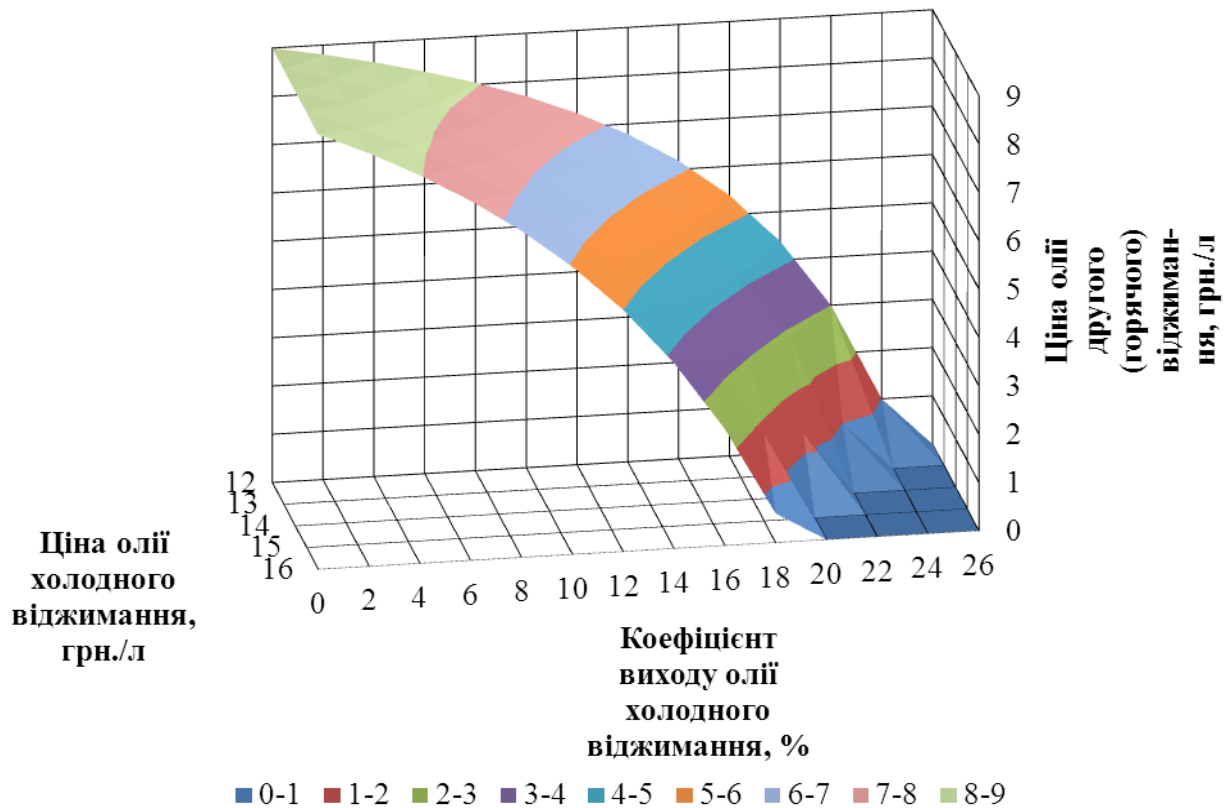
Нульова ціна олії другого (гарячого) віджимання може бути визначена із рівняння (5):

$$\text{якщо } C_{or} = 0, \text{ то } k_o C_o - k_{ox} C_{ox} = 0 \quad \text{або} \quad k_{ox} = k_o \frac{C_o}{C_{ox}}. \quad (6)$$

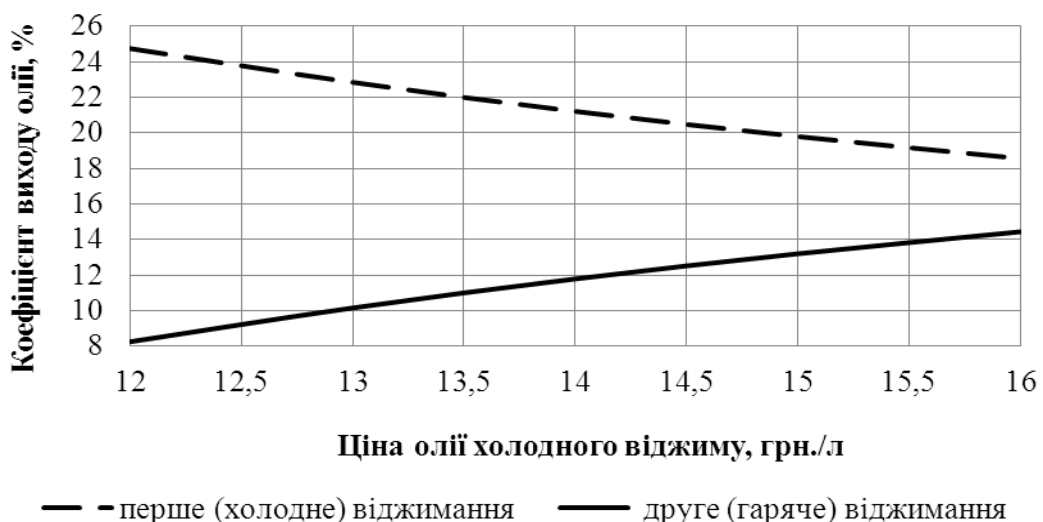
Залежності на рис. 3 отримано виходячи із нульової ціни олії другого (гарячого) віджимання. Встановлено, що із збільшенням ціни олії першого (холодного) віджимання нульова ціна олії другого (гарячого) віджимання може бути досягнута при менших значеннях коефіцієнта виходу олії першого (холодного) віджимання та при більших значеннях коефіцієнта виходу олії другого (гарячого) віджимання.

Таким чином, при збільшенні ціни олії першого (холодного) віджимання, нульову ціну олії другого (гарячого) віджимання можна буде отримати при менших зменшеннях коефіцієнта виходу олії першого (холодного) віджимання та більших зменшеннях коефіцієнта виходу олії другого (гарячого) віджимання. Так, при ціні олії першого (холодного) віджимання 12 грн./л, ціна олії другого (гарячого) віджимання матиме нульове значення при коефіцієнті виходу олії першого (холодного) віджимання 25 % та

коефіцієнті виходу олії другого (гарячого) віджимання 8 %. При ціні олії першого (холодного) віджимання 16 грн./л аналогічна ситуація буде мати місце при коефіцієнті виходу олії першого (холодного) віджимання 19 % та коефіцієнті виходу олії другого (гарячого) віджимання 14,5 %.



**Рис. 2. Залежність ціни олії другого (гарячого) віджимання від ціни олії першого (холодного) віджимання та коефіцієнта виходу олії холодного віджимання**



**Рис. 3. Залежність значень коефіцієнтів виходу олії першого (холодного) та другого (гарячого) віджимання від ціни олії першого (холодного) віджимання при нульовому значенні ціни олії другого (гарячого) віджимання**

У випадку, коли коефіцієнти виходу олії першого (холодного) та дру-

$$k_{OX} = k_{OG} = \frac{k_O}{2}$$

гого (гарячого) віджимання однакові і становлять ціна олії другого (гарячого) віджимання залежно від ціни олії першого (холодного) віджимання становитиме:

$$C_{OG} = 2C_O - C_{OX}. \quad (7)$$

Таким чином, ціна олії гарячого віджимання визначається як подвоєна ціна олії за вирахуванням ціни олії холодного віджимання.

### Висновки

Для отримання рослинної олії необхідно застосовувати двоступінчасте віджимання, причому високоякісну олію першого (холодного) віджимання доцільно використовувати для харчових потреб, а недорогої, порівняно з олією першого (холодного) віджимання, олією другого (гарячого) віджимання – для потреб виробництва дизельного біопалива.

### Список літератури

1. Біопалива (технології, машини і обладнання) / [В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло, та ін.]. – К.: ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.
2. Голуб Г.А. Аналіз технологій виробництва рослинної олії та дизельного біопалива на її основі / Г.А. Голуб, М.Ю. Павленко, С.В. Лук'янець // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць. / (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого); Редкол.: Кравчук В.І. (голов. ред.) та ін.. – Дослідницьке, 2012. – Вип. 16 (30), кн. 2. – С. 391 – 399.
3. Голуб Г.А. Напрямки удосконалення виробництва і використання дизельного біопалива / Г.А. Голуб, В.В. Чуба, М.Ю. Павленко // Зб. наук. праць ВНАУ. – Вінниця, 2012. – Вип. 10, т.1 (58). – С. 20–23.
4. Голуб Г.А. Особливості установок для виробництва дизельного біопалива / Г.А. Голуб, В.В. Чуба, М.І. Вільовка // Промислова гідравліка і пневматика. – 2011. – № 2 (32). – С. 91–95.
5. Масло І.П. Виробництво та використання біопалива на основі рослинних олій / І.П. Масло, В.П. Заборський, М.І. Вільовка // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. ["Проблеми та перспективи розвитку аграрної механіки"]. – Дніпропетровськ, 2004. – С.49–51.
6. Обґрунтування адаптивного процесу і параметрів реактора для одержання метилових ефірів рослинних олій: автореф. дис. ... на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / С.В. Драгнєв – К., 2009. – 20 с.
7. Павленко М.Ю. Аналіз технологій виробництва дизельного біопалива / М.Ю. Павленко // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К., 2013. – Вип 185, ч.1. – С. 161–166.

*Приведена оцінка сировинної бази виробництва дизельного біопалива при двохступенчатом отжиме растительного масла.*

***Растительное масло, дизельное биотопливо, холодный отжим, горячий отжим.***

*The resource base biodiesel production assessment in two-step pressing vegetable oil is given.*

***Vegetable oil, biodiesel, cold pressing, hot pressing.***

УДК 631.372:62-843

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ НА ДИЗЕЛЬНОМУ БІОПАЛИВІ**

***Г.А. Голуб, доктор технічних наук  
В.В. Чуба, інженер\****

*Виконано математичне моделювання та отримано теоретичні залежності зміни експлуатаційних параметрів роботи машинно-тракторного агрегату (МТА) при зміні навантаження та застосуванні дизельного біопалива на основі метилових ефірів жирних кислот рослинної олії.*

***Машинно-тракторний агрегат, динаміка, дизельне біопаливо.***

Оцінка можливостей реалізації потужності енергозасобу в складі МТА в тих чи інших експлуатаційних умовах при застосуванні відповідних сільськогосподарських машин та типу палива залишається головним експлуатаційним питанням.

Енергетичні показники МТА при взаємодії з робочим середовищем змінюються в досить широких межах, що в свою чергу відображається на техніко-економічних показниках, насамперед витраті палива та часі виконання технологічних операцій. Вирішення питання взаємозв'язку між параметрами МТА при виконанні технологічних операцій дозволяє виконати моделювання зміни основних показників та отримати дані для виконання оптимізації роботи МТА.

У роботах [5, 3] МТА розглядається як система твердих тіл, пов'язаних між собою як жорсткими, так і пружними елементами, при роботі яких вся система тіл здійснює поступальний рух. При цьому сили та моменти подано, виходячи з рівнянь балансів потужності та моментів інерції обертальних мас. Рівняння руху агрегату та баланс моментів у роботі [4] подано як приріст кінетичної енергії, що дорівнює роботі усіх сил, діючих у точках прикладення. Значний внесок у дослідження роботи автотра-

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук Г.А. Голуб.

***Растительное масло, дизельное биотопливо, холодный отжим, горячий отжим.***

*The resource base biodiesel production assessment in two-step pressing vegetable oil is given.*

***Vegetable oil, biodiesel, cold pressing, hot pressing.***

УДК 631.372:62-843

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ НА ДИЗЕЛЬНОМУ БІОПАЛИВІ**

***Г.А. Голуб, доктор технічних наук  
В.В. Чуба, інженер\****

*Виконано математичне моделювання та отримано теоретичні залежності зміни експлуатаційних параметрів роботи машинно-тракторного агрегату (МТА) при зміні навантаження та застосуванні дизельного біопалива на основі метилових ефірів жирних кислот рослинної олії.*

***Машинно-тракторний агрегат, динаміка, дизельне біопаливо.***

Оцінка можливостей реалізації потужності енергозасобу в складі МТА в тих чи інших експлуатаційних умовах при застосуванні відповідних сільськогосподарських машин та типу палива залишається головним експлуатаційним питанням.

Енергетичні показники МТА при взаємодії з робочим середовищем змінюються в досить широких межах, що в свою чергу відображається на техніко-економічних показниках, насамперед витраті палива та часі виконання технологічних операцій. Вирішення питання взаємозв'язку між параметрами МТА при виконанні технологічних операцій дозволяє виконати моделювання зміни основних показників та отримати дані для виконання оптимізації роботи МТА.

У роботах [5, 3] МТА розглядається як система твердих тіл, пов'язаних між собою як жорсткими, так і пружними елементами, при роботі яких вся система тіл здійснює поступальний рух. При цьому сили та моменти подано, виходячи з рівнянь балансів потужності та моментів інерції обертальних мас. Рівняння руху агрегату та баланс моментів у роботі [4] подано як приріст кінетичної енергії, що дорівнює роботі усіх сил, діючих у точках прикладення. Значний внесок у дослідження роботи автотра-

---

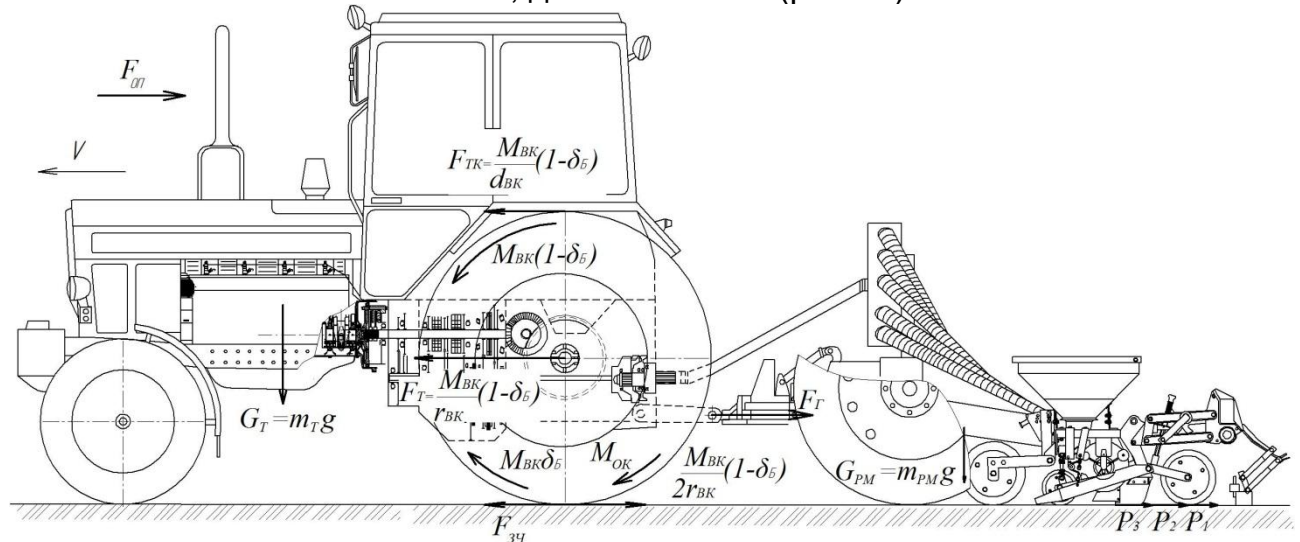
\* Науковий керівник – доктор технічних наук Г.А. Голуб.

кторних двигунів зробив В.Н. Болтинський, який у праці [1] наводить рівняння, що дозволяє врахувати нерівномірність зміни динамічних характеристик двигуна та моментів опору агрегату на основі рівняння моментів інерції. Нами у роботі [2] отримано залежність тягової сили МТА від типу палива та його подачі, яка дозволяє, виходячи з геометричних параметрів подачі палива та його типу, визначити силу тяги та обертальний момент на приводних колесах енергозасобу.

**Мета досліджень** – отримання теоретичних залежностей експлуатаційних характеристик МТА при зміні навантаження та використанні різних типів палив.

**Матеріали та методика досліджень.** Дослідження динаміки руху МТА проведено з використанням методів математичного моделювання. Аналіз теоретичних залежностей експлуатаційних характеристик МТА виконували методом виділення найважливіших параметрів, що впливають на його роботу і порівнянням їх числових значень для різних видів палива.

**Результати досліджень.** Для вирішення поставленої задачі нами виконано аналіз сил і моментів, діючих на МТА (рис. 1.)



**Рис. 1. Схема сил та обертальних моментів, діючих на МТА:**

$M_{BK}$  – крутильний моменти ведучих коліс;  $M_{OK}$  – момент на подолання опору кочення;  $F_{TK}$  – сила тяги трактора від крутильного моменту на колесі;  $F_T$  – сила тяги трактора, зведена до осі колеса;  $F_{зч}$  – сила зчеплення коліс з поверхнею;  $F_T$  – сила тягового опору робочої машини;  $F_{оп}$  – сила опору повітря;  $G_T$  – вага трактора;  $G_{PM}$  – вага робочої машини

Отримано також рівняння динаміки руху МТА залежно від навантаження, типу палива, геометричних параметрів паливоподачі та експлуатаційних параметрів агрегату, передаточного числа трансмісії, зміни ефективного коефіцієнта корисної дії двигуна залежно від режиму роботи двигуна та параметрів, що характеризують агротехнологічне середовище:

$$\begin{aligned}
& \frac{(m_T + m_{PM})r_{BK}(1 - \delta_B) d\omega}{i_{TPBK} dt} = \\
& = \left( \frac{S_{ПЛ} l_{ПЛ} \rho_{П} k_{ПЛ} i Q_H (\varepsilon \omega^2 + \beta \omega + \gamma) k_{ЗМДБП}}{2\pi} - \frac{H_{PM} Q_{PM}}{\eta_{PM} \omega_{PM} i_{TPBВП} \eta_{TPBВП}} \right) r_{BK}^{-1} \times \\
& \times (1 - \delta_B) \eta_{TPBK} i_{TPBK} - f m_T g - \frac{k_{ОП} S_{ЛОБ} \omega^2 r_{BK}^2 (1 - \delta_B)^2}{i_{TPBK}^2} - f' m_{PM} g - kab - \\
& - \theta ab \left[ \frac{\omega}{i_{TPBK}} r_{BK} (1 - \delta_B) \right]^2,
\end{aligned} \tag{1}$$

де  $m_T$  – маса трактора, кг;  $m_{PM}$  – маса робочої машини, кг;  $r_{BK}$  – радіус ведучого колеса, м;  $\delta_B$  – коефіцієнт втрат потужності на буксування ведучих коліс, відн. од.;  $i_{TPBK}$  – передаточне число трансмісії від двигуна до

ведучих коліс, од.;  $dt$  – кутове прискорення колінчастого вала двигуна трактора, рад/с<sup>2</sup>;  $S_{ПЛ}$  – площа плунжерної пари, м<sup>2</sup>;  $l_{ПЛ}$  – активний хід плунжера, м;  $\rho_{П}$  – густина палива, кг/м<sup>3</sup>;  $k_{ПЛ}$  – коефіцієнт подачі палива плунжером паливного насоса;  $i$  – кількість впорскувань палива за один оберт двигуна, об<sup>-1</sup>;  $Q_H$  – нижча теплотворна здатність палива, Дж/кг;  $\omega$  – кутова швидкість колінчастого вала двигуна трактора, рад/с;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – коефіцієнти апроксимації залежності зміни ефективного коефіцієнта корисної дії двигуна від кутової частоти обертання колінчастого вала, відн. од.;  $k_{ЗМДБП}$  – коефіцієнт зменшення ефективності коефіцієнта корисної дії двигуна при застосуванні дизельного біопалива, відн. од.;  $H_{PM}$  – тиск, створюваний вентилятором робочої машини, Па;  $Q_{PM}$  – об'ємна витрата повітря вентилятором робочої машини, м<sup>3</sup>/с;  $\eta_{PM}$  – коефіцієнт корисної дії вентилятора робочої машини, відн. од.;  $\omega_{PM}$  – кутова швидкість обертальних частин робочої машини, рад/с;  $i_{TPBВП}$  – передаточне число трансмісії від двигуна до вала відбору потужності, од.;  $\eta_{TPBВП}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії вала відбору потужності, відн. од.;  $\eta_{TPBK}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії енергозасобу, відн. од.;  $i_{TPBVK}$  – передаточне число трансмісії від двигуна до ведучих коліс, од.;  $f$  – коефіцієнт опору кочення коліс, відн. од.;  $g$  – прискорення сили земного тяжіння, м/с<sup>2</sup>;  $k_{ОП}$  – коефіцієнт опору повітря, Н с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;  $S_{ЛОБ}$  – площа лобового опору МТА, м<sup>2</sup>;  $f'$  – сумарний коефіцієнт тертя, який включає тертя знаряддя об ґрунт та тертя кочення опорного колеса плуга, відн. од.;  $k$  – питомий опір деформації ґрунту, Н/м<sup>2</sup>;  $a$  – ширина оброблюваного пласта, м;  $b$  – глибина оброблювального пласта, м;  $\theta$  – коефіцієнт, який враховує співвідношення швидкості відкидання пласта та швидкості плуга, Н с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>.

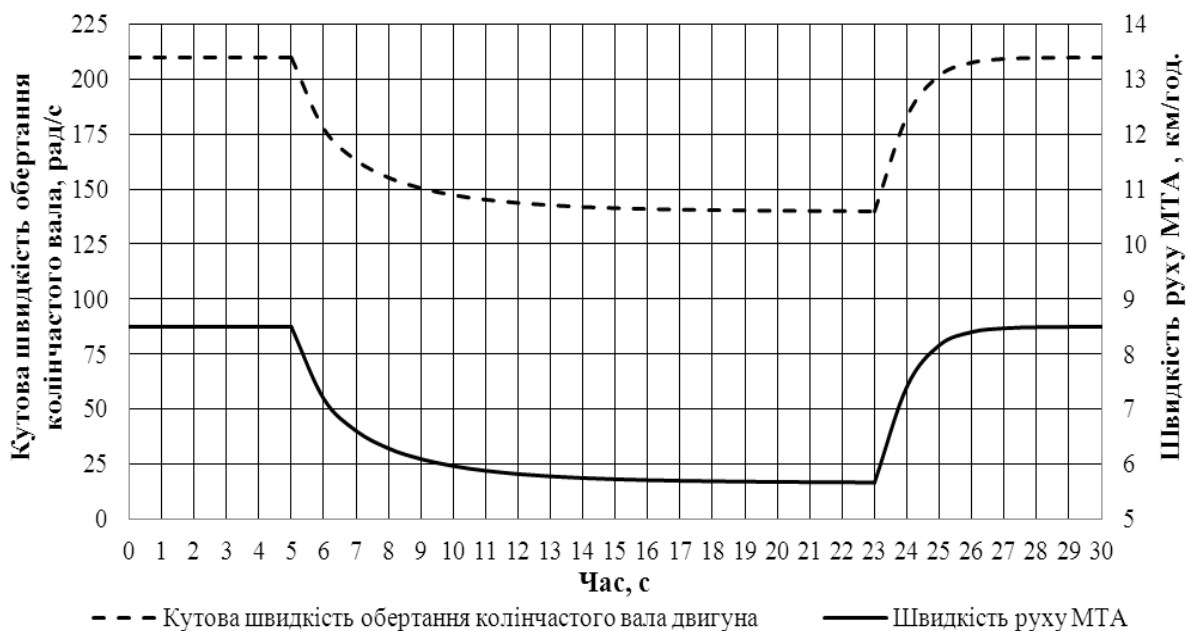
Отримане рівняння динаміки руху МТА має такий вигляд:

$$\omega = \frac{1}{2P} \left( J \left( \frac{2P\omega_{\Pi} + L + J \frac{(1-e^{tJ})}{(1+e^{tJ})}}{(2P\omega_{\Pi} + L) \frac{(1-e^{tJ})}{(1+e^{tJ})} + J} \right) - L \right), \quad (2)$$

де  $\omega_{\Pi}$  – початкова частота обертання колінчастого вала двигуна, рад/с;  $\omega$  – кінцева частота обертання колінчастого вала двигуна, рад/с.

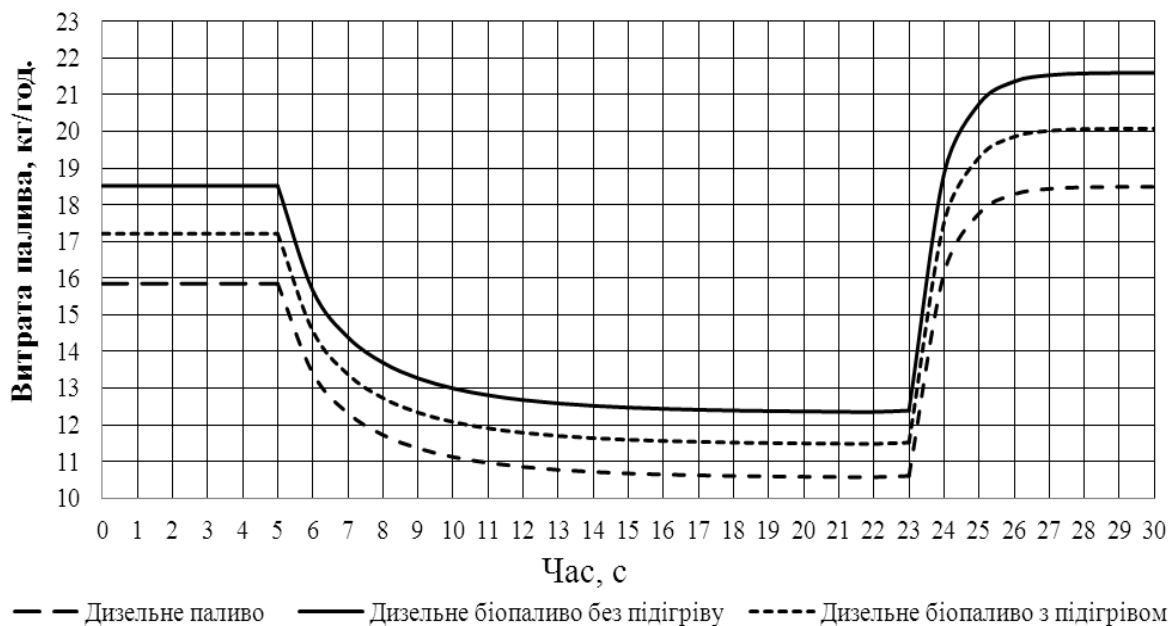
Наведене рівняння описує динаміку зміни кутової швидкості колінчастого вала двигуна при зміні зовнішніх параметрів, які характеризують роботу МТА при виконанні технологічних операцій та характеристик палива, яке застосовується. Цей вираз містить постійні величини диференційного рівняння, які залежать тільки від паливоподачі та виду палива –  $L$  (с<sup>-1</sup>), а також від паливоподачі, виду палива та навантаження МТА –  $P$  (відн. од.) і  $J$  (с<sup>-1</sup>).

На базі отриманої математичної моделі динаміки руху МТА та її рішення виконано розрахунки зміни експлуатаційних параметрів МТА на базі трактора Кий-14102 з двигуном Д-245 при виконанні технологічної операції оранки та отримано залежності зміни кутової швидкості обертання колінчастого вала двигуна і швидкості руху МТА (рис. 2) та витрати палива залежно від типу палива, зміни навантаження та параметрів паливоподачі (рис. 3).



**Рис. 2. Динаміка зміни швидкісних характеристик двигуна та МТА залежно від зміни навантаження та подачі палива**

Проведені теоретичні дослідження показали, що при однаковому навантаженні та його зміні для різних типів палива зміна швидкісних характеристик двигуна та МТА відбуваються за однаковим законом, при цьому слід зазначити відмінність у витраті палива (див. рис 3).



**Рис. 3. Динаміка зміни витрати палива при зміні завантаження і різних типах палива**

Ці відмінності при роботі на дизельному паливі та дизельному біопаливі в першу чергу пов'язані з відмінностями їх нижчих теплотворних здатностей та густини, а також коефіцієнта повноти згоряння, який для дизельного біопалива також залежить від температури палива перед впорскуванням у циліндр двигуна.

На рис. 2 із першої до п'ятої секунди відображено початкові прямолінійні ділянки графіків зміни кутової швидкості обертання колінчастого вала двигуна та руху МТА, що відповідають рівномірному руху агрегату по полю при встановленому режимі навантаження.

Для отримання динаміки зміни швидкісних параметрів роботи МТА від навантаження виконано зміну властивостей агротехнологічного середовища, а саме збільшено питомий опір деформації ґрунту та зусилля на відкидання пласта при незмінній подачі палива, що на практиці відповідає раптовій зміні щільності, вологості та типу ґрунту і призводить до раптового збільшення тягового опору робочої машини. Підвищення тягового опору агрегату призводить до зниження обертів двигуна від перенавантаження і, як наслідок, відбувається зменшення обертів двигуна, відповідно зменшується годинна витрата палива на фоні зменшення швидкості руху агрегату, що в свою чергу призводить до зменшення його тягового опору. Як наслідок, така система буде намагатися знайти свій новий зрівноважений стан. Якщо такий стан настане при параметрах, які знаходяться в робочому діапазоні двигуна внутрішнього згоряння, то МТА стабілізує свій рух при нижчій швидкості руху і частоті обертання двигуна та меншій годинній витраті палива. Перебіг цього процесу спостерігається на графіках рис. 2 та рис. 3 з 5 до 23 с. У подальшому МТА вийде на новий зрівноважений режим роботи і надалі буде відбуватися рівномірний рух.

Збільшення тягового опору агрегату призводить до зменшення робочої швидкості МТА, що в свою чергу відображається на продуктивності роботи агрегату за одиницю часу та може призвести до зниження якості виконання агротехнічних вимог до технологічної операції, наприклад до неповного обороту скиби ґрунту або недостатнього її руйнування. Для підвищення швидкості руху при незмінній подачі палива необхідно зменшити тяговий опір агрегату за рахунок зменшення глибини обробітку або зменшення ширини захвату агрегату. Перше недопустимо із агротехнічних вимог, друге призведе до зменшення продуктивності. Тому, для досягнення відповідної продуктивності та забезпечення виконання агротехнічних вимог необхідно збільшити робочу швидкість руху МТА, що може бути досягнуто збільшенням подачі палива. Збільшення подачі палива призведе до підвищення кутової частоти обертання двигуна, збільшення потужності, що розвиває двигун і, як наслідок, до зростання швидкості та відповідно збільшення тягового опору агрегату. МТА почне розганятися до встановлення нового відповідного рівноважного режиму при нових параметрах. На графіках рис. 2 та рис. 3 з 23 по 30 с показано процес розгону МТА при миттєвому збільшенні подачі палива, що задовольняє вихід МТА на початковий швидкісний режим.

Слід зазначити, що характеристики рис. 2 і рис. 3 відображають зміну роботи МТА на різних типах палива із зміною навантаження при жорстко зафіксованій рейці паливного насоса високого тиску або при використанні паливного насоса високого тиску, обладнаного тільки дворегімовим регулятором, який працює тільки при пуску та збільшенні частоти обертання двигуна вище максимально допустимої. Проте майже всі насоси високого тиску вітчизняної сільськогосподарської техніки обладнані всережимними відцентровими регуляторами, які при зниженні кутової швидкості обертання колінчастого вала двигуна автоматично збільшують циклову подачу палива і навпаки. Однак паливні насоси високого тиску з відцентровими всережимними регуляторами не задовольняють екологічних вимог щодо роботи двигуна на перехідних режимах. Адже із зменшенням обертів двигуна відбувається зменшення наповненості повітрям циліндрів за рахунок зменшення швидкості руху поршня та швидкості впускного заряду. Одночасно збільшується кількість палива, яке впорскується до циліндра, що призводить до різкого погіршення екологічних показників роботи двигунів внутрішнього згорання. Характеристика зміни циклової подачі в паливних насосах високого тиску з відцентровими регуляторами механічної дії досить складна і залежить від багатьох конструктивних параметрів і тому її введення в існуючу математичну модель (1) є досить складною математичною задачею.

Всережимні регулятори сучасних систем паливоподачі двигунів внутрішнього згорання базуються на комп'ютерному управлінні впорскуванням палива. Впорскування палива здійснюється згідно із заданим законом зміни його кількості відносно параметрів роботи двигуна. Цей закон може бути з легкістю інтегровано в існуючу математичну модель для проведен-

ня розрахунку відповідного енергетичного засобу та параметрів роботи МТА на його базі.

### Висновки

Отримана математична модель залежності динаміки руху МТА від зміни параметрів агротехнологічного середовища та типу палива дозволила встановити, що динаміка руху МТА не залежить від виду палива і при роботі трактора з двигуном Д-245 на технологічній операції оранки, перехідний процес при зміні навантаження становить 18 с, а при розгоні до початкового швидкісного режиму 7 с. Встановлено також, що під час перехідного процесу, викликаним збільшенням навантаження на агрегат, швидкість МТА зменшується з 8,5 до 5,67 км/год. При цьому відбувається зменшення витрати палива на 33,27 %, тобто для дизельного палива відбувається зменшення витрати з 15,85 до 10,57 кг/год, для дизельного біопалива без підігріву – з 18,51 до 12,35 кг/год, а для дизельного біопалива з підігрівом – з 17,21 до 11,48 кг/год. Для виходу агрегату на початкову швидкість руху (8,5 км/год) необхідно збільшити подачу палива на 16,65 % відносно початкової витрати палива або на 74,88 % відносно величини подачі палива при швидкості 5,67 км/год.

### Список літератури

1. Болтинский В.Н. Работа тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке / В.Н. Болтинский. – М.: Сельхозгиз, 1949. – 216 с.
2. Голуб Г.А. Визначення тягової сили енергозасобів при роботі на дизельному біопаливі / Г.А. Голуб, В. В. Чуба // Міжвід. темат. наук. зб. ННЦ "ІМЕСГ" НААН "Механізація та електрифікація сільського господарства". – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2013. – Вип. 98, т.2– С. 135–144.
3. Д.А. Чудаков Д.А. Основы теории трактора и автомобиля / Д.А. Чудаков. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 312 с.
4. Свирщевский Б.С. Эксплуатация машинно-тракторного парка: учебник для ин-тов и фак. механизации и электрификации с.х. / Б.С. Свирщевский. – М.: Сельхозгиз, 1958. – 660 с.
5. Тракторы и автомобили / [под В.А. Скотникова.] – М.: Агропромиздат, 1985. – 440 с.

*Выполнено математическое моделирование и получены теоретические зависимости изменения эксплуатационных параметров работы машинно – тракторного агрегата (МТА) при изменении нагрузки и применении дизельного биотоплива на основе метиловых эфиров жирных кислот растительного масла.*

***Машинно-тракторный агрегат, динамика, дизельное биотопливо.***

*The mathematical modeling is given and theoretical curves obtained changing the operating parameters of the machine-tractor units when the load changes and the use of biodiesel on the basis of fatty acid methyl esters of vegetable oil.*

***Machine-tractor units, dynamics, biodiesel.***

## КООРДИНАТНО-ПРОСТОРОВА ОЦІНКА ІНТЕНСИВНОСТІ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

*Г.А. Голуб, доктор технічних наук  
А.В. Дворник, аспірант\**

*Наведено координатно-просторову оцінку інтенсивності перед-  
посівного обробітку ґрунту.*

***Передпосівний обробіток ґрунту, координатно-просторова  
оцінка, коефіцієнт інтенсивності.***

Для обробітку ґрунту у рослинництві, використовуються як традиційні, що постійно удосконалюються, так і нові технології. Робочі органи та технології удосконалюються у напрямку забезпечення якості обробітку ґрунту і зменшення при цьому енерговитрат. Координатно-просторова оцінка інтенсивності передпосівного обробітку ґрунту є одним із критеріїв визначення ефективності використання існуючих технологій.

У рослинництві все більшої популярності набуває органічна (біологічна) система землеробства. Головні її переваги: висока якість та безпечність сільськогосподарської продукції, зменшення забруднення навколишнього середовища, підтримання та відтворення родючості ґрунту за рахунок органічних добрив, зароблених у ґрунт сидератів та залишених рослинних решток. Біологічний потенціал ґрунтів України використовується лише на 20 – 30 %, а енерговитрати для отримання одиниці продукції рослинництва в 2–2,5 рази перевищують енерговитрати розвинених країн [12].

Стосовно зниження експлуатаційних витрат, то велика частка потенціалу міститься у секторі обробітку ґрунту та посіву [5]. За різними підрахунками, нині на обробіток ґрунту, в середньому, витрачається 40 % енергетичних та 25 % трудових ресурсів, а також приблизно 500 тис. т палива на рік від загального обсягу польових робіт [11].

У природних умовах спостерігається підвищення, а не зниження родючості ґрунту [11], оскільки, як влучно зауважив М.Н. Шикула, "природа ніколи не орала" [2]. При цьому, відбувається природне розпушення ґрунту. Неоране поле на глибину до 2 м пронизане мільярдами капілярів від коренів однолітніх рослин або життєдіяльності дощових черв'яків та інших організмів. Цими тонкими, але глибокими ходами землю насичує волога, яка взимку замерзає й розриває їх.

Дослідження, проведені в штаті Іллінойс (США), показали, що корені сої проникають у канали, утворені дощовими черв'яками на глибину 30-45 см і продовжують рости, інколи, навіть на глибину 127 см [11].

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Г.А. Голуб.

У сучасному сільськогосподарському виробництві обробіток ґрунту виконується за різними системами й технологіями, які можна умовно класифікувати так:

- традиційна або класична технологія обробітку ґрунту (Full till), заснована на суцільній оранці різними плугами глибиною до 30 см, після чого на поверхні ґрунту залишається менше 15 % рослинних решток [4];
- технологія мінімального обробітку ґрунту (Mini till), виконується луцильниками, дисковими знаряддями на глибину до 15 см, після чого на поверхні ґрунту залишається від 15 до 30 % рослинних решток;
- технологія нульового обробітку ґрунту (No-till), характеризується цілковитою відсутністю обробітку. Висівання проводиться сівалками прямої сівби [4], в яких перед висівним дисковим сошником установлюється спеціальний варіодиск, що прорізує в ґрунті борозенку, в яку потім потрапляє насіння. Технології прямого посіву можна застосовувати для вирощування різних польових культур, за винятком овочевих та картоплі [5];
- технологія смугового обробітку ґрунту (Strip Till), поєднує переваги традиційної технології та ґрунтозберігаючої нульової. Використовується для широкорядних (з міжряддям від 40 см) культур, таких як кукурудза, соняшник, соя та ін.

Відомо, що починати сівбу краще на полях із більш легкими ґрунтами й найменшою кількістю рослинних решток, що обумовлює швидше їх прогрівання. На полях із великою кількістю рослинних решток необхідно обробляти лише смугу шириною до 25 см та глибиною до 30 см, де розміститься насіння. Вона прогріється швидше, а на необроблених міжряддях, із залишеними рослинними рештками, збережеться волога і затримається поява сходів бур'янів [3,9].

Смуговий обробіток ґрунту виконується посівними комплексами у складі культиватора та посівного блока. Такі комплекси мають широкий діапазон застосування, тому що кожен агрегат можна використовувати окремо один від одного [5].

Для виконання технологічних операцій обробітку ґрунту необхідно вибирати раціональний склад МТА, який матиме високу продуктивність, низьку вартість та експлуатаційні затрати, забезпечуватиме оптимальні умови, необхідні для росту рослин [13]. Найімовірніше, жодна з існуючих технологій, в багатогалузевому сільськогосподарському підприємстві, не буде застосовуватися як одна-єдина. Доцільно використовувати диференційований обробіток, де для кожної культури, залежно від конкретних умов, використовуватиметься та чи інша технологія обробітку ґрунту [6].

**Мета досліджень** – встановлення переваг та недоліків існуючих технологій передпосівного обробітку ґрунту та формування критерію координатно-просторової оцінки інтенсивності впливу на ґрунтове середовище.

**Результати досліджень.** Нами встановлено, що в сучасних умовах біологічного та енергозберігаючого землеробства, поряд з існуючими технологіями передпосівного обробітку ґрунту, які наведено вище, необхідно розробити та впровадити у виробництво машини та обладнання для реалізації технології точкового обробітку ґрунту (Point till). Використання точ-

кового обробітку ґрунту найдоцільніше для вирощування овочевих та багаторічних культур, посіяних гніздовим або квадратно-гніздовим способом. Відстань між рослинами, при цьому, може дорівнювати або бути більшою за ширину міжряддя. У порівнянні з технологією Strip till, де обробляється смуга по всій довжині поля, технологія Point till забезпечує обробіток лише окремих точок, де буде розміщуватися рослина. Такий обробіток дає можливість у більшій мірі, порівняно із технологією Strip till, зменшити енерговитрати із одночасним збільшенням рівня збереження природної структури ґрунту.

Аналіз переваг і недоліків існуючих технологій передпосівного обробітку ґрунту наведено на рис. 1.

Координатно-просторову оцінку передпосівного обробітку ґрунту за допомогою коефіцієнта інтенсивності впливу на ґрунт пропонується визначати за формулою:

$$K_t = K_b K_a K_l, \quad (1)$$

де  $K_t$  – коефіцієнт інтенсивності передпосівного обробітку ґрунту, відн. од.;  $K_b$  – коефіцієнт інтенсивності глибини обробітку ґрунту, відн. од.;  $K_a$  – коефіцієнт інтенсивності обробітку ґрунту по ширині обробленої поверхні поля, відн. од.;  $K_l$  – коефіцієнт інтенсивності обробітку ґрунту по довжині поля, відн. од.

Складові формули (1) визначаються так:

$$K_b = \frac{b_t}{b_{FT}}; \quad K_a = \frac{a_t}{a_{FT}}; \quad K_l = \frac{l_t}{l_{FT}}, \quad (2)$$

де  $b_t$  – глибина обробітку поля для вибраної технології, м;  $b_{FT}$  – глибина обробітку поля за традиційної технології (Full Till), м;  $a_t$  – ширина обробітку поля для вибраної технології, м;  $a_{FT}$  – ширина обробітку поля за традиційної технології, м;  $l_t$  – довжина обробітку для вибраної технології, м;  $l_{FT}$  – довжина обробітку за традиційної технології, м.

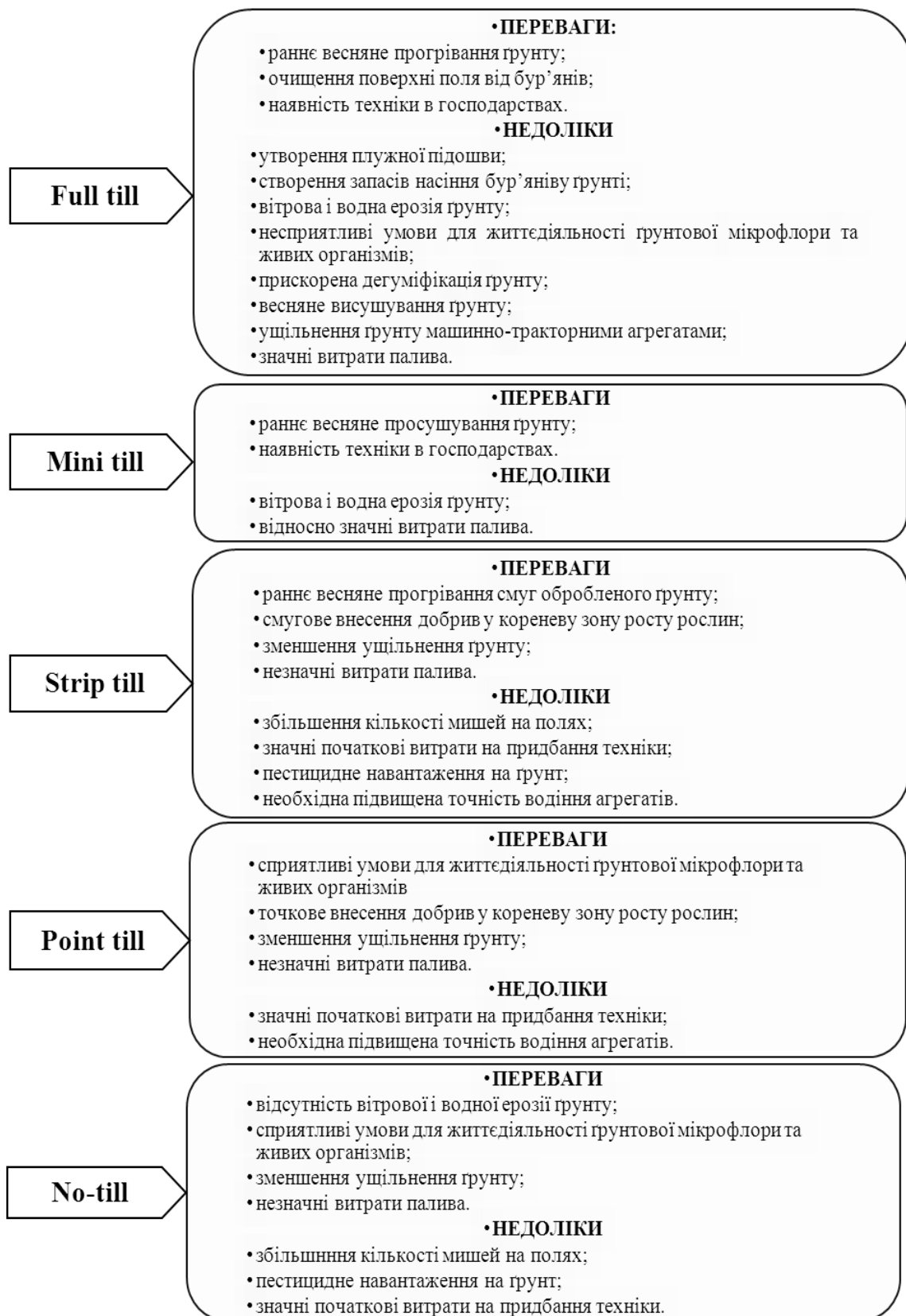
$$a_t = n_{np.a} a_c; \quad l_t = n_{np.d} l_c, \quad (3)$$

де  $a_c$  – ширина смуги, яка обробляється однією секцією агрегату, м;  $n_{np.a}$  – кількість проходів однієї секції агрегату по ширині поля, шт.;  $l_c$  – довжина смуги (точка), яка обробляється однією секцією агрегату, м;  $n_{np.d}$  – кількість частин (точок) оброблених однією секцією агрегату по довжині поля, шт.

$$n_{np.a} = \frac{A}{a_{між}}; \quad n_{np.d} = \frac{B}{l_{від}}, \quad (4)$$

де  $A$  – ширина поля, м;  $a_{між}$  – ширина міжряддя культури, м;  $B$  – ширина поля, м;  $l_{від}$  – відстань між рослинами культури у рядку, м.

Коефіцієнт інтенсивності довжини оброблюваної частини поля  $K_l$  ефективно використовувати для технології точкового обробітку ґрунту (Point till). Для решти технологій  $K_l = 1$ . Замінімо добуток ( $a_{FT} l_{FT}$ ) на площу поля  $S_{пл} = A B$  (м<sup>2</sup>), оскільки при традиційній технології площа поля обробляється повністю по всій ширині та довжині. Підставимо цей вираз у формулу (1).



**Рис. 1. Системи передпосівного обробітку ґрунту**

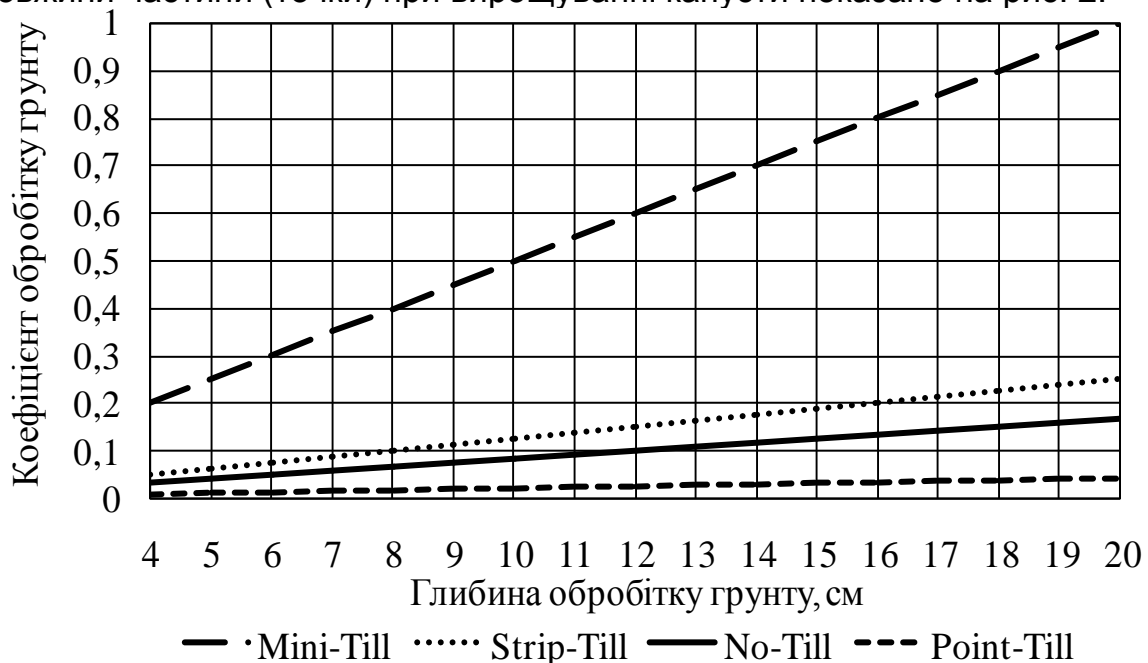
$$K_t = \frac{b_t a_c n_{np.a} l_c n_{np.d}}{b_{FT} S_{пл}} \quad (5)$$

Для прикладу, проведемо координатно-просторову оцінку передпосівного обробітку ґрунту при використанні зазначених технологій та розрахуємо коефіцієнт інтенсивності  $K_t$  за формулою (5) на площі 100 м<sup>2</sup> при вирощуванні капусти квадратно-гніздовим способом при ширині міжряддя 60 см та відстані між рослинами у рядку 40 см. Глибину обробітку для традиційної технології приймаємо 20 см, для інших – 10 см. Очевидно, що ширина обробітку за традиційної та мінімальної технології дорівнює ширині поля. Ширину обробленої смуги для No-Till та Point Till приймаємо 10 см, для Strip Till – 15 см. Довжину обробітку для існуючих технологій приймаємо на рівні довжини поля. Для точкового обробітку довжину обробленої точки приймаємо 10 см. Дані розрахунків наведено у таблиці.

### Координатно-просторові параметри інтенсивності передпосівного обробітку, м

Обробіток ґрунту	Глибина, м	Довжина, м	Ширина, м	Коефіцієнт $K_t$
Традиційний (Full Till)	0,20	10	10	1,0
Мінімальний (Mini Till)	0,1	10	10	0,5
Смуговий (Strip Till)	0,1	10	2,5	0,125
Нульовий (No-Till)	0,1	10	1,67	0,083
Точковий (Point Till)	0,1	2,5	1,67	0,021

Залежність коефіцієнта інтенсивності передпосівного обробітку ґрунту  $K_t$  від зміни глибини обробітку при сталих параметрах ширини смуги і довжини частини (точки) при вирощуванні капусти показано на рис. 2.



**Рис. 2. Залежність коефіцієнта інтенсивності  $K_t$  від глибини обробітку ґрунту**

Однією із вимог до агрегатів обробітку ґрунту є тяговий опір. Координатно-просторова оцінка передпосівного обробітку ґрунту за допомогою визначення коефіцієнта інтенсивності передпосівного обробітку ґрунту  $K_t$  дозволяє опосередковано розрахувати величину зменшення тягового опору агрегату.

Із графіка видно, що зменшення глибини, ширини і довжини обробітку ґрунту призводить до зменшення коефіцієнта інтенсивності передпосівного обробітку, що у свою чергу зменшує тяговий опір агрегату. Технологія точкового обробітку має найменші показники порівняно з іншими, саме тому ефективність її застосування є доцільною в сучасному сільському господарстві.

### Висновки

В умовах біологічного, енергозберігаючого землеробства доцільно застосовувати технології передпосівного обробітку ґрунту, які забезпечують мінімальний вплив на ґрунтове середовище та зменшення витрат палива. Однією з них може бути технологія точкового обробітку ґрунту (Point till). Координатно-просторова оцінка інтенсивності передпосівного обробітку ґрунту дає можливість порівняти існуючі технології за коефіцієнтом інтенсивності впливу на ґрунтове середовище.

### Список літератури

1. Голуб Г.А. Рівняння динаміки машинно-тракторного агрегату при роботі на дизельному біопаливі / Г.А. Голуб, В.В. Чуба // Сучасні проблеми збалансованого природокористування: зб. наук. праць. – Кам'янець-Подільський, 2013. – С. 186–190.
2. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні: монографія / [за ред. М.К. Шикіули]. – К.: Оранта, 2000. – 389 с.
3. Євтушенко В. Strip Till в Україні. Досвід використання Strip Till в Україні на прикладі СТОВ "Дружба Нова" / В. Євтушенко // The Ukrainian Farmer. – 2012.– № 9. – С. 99–100.
4. Кліщенко С. Сучасні тенденції в системах та технологіях обробітку ґрунту / С. Кліщенко, В. Урсулов, М. Урсулов // Механізація сільського господарства. – 2011. – № 5. – С. 36–45.
5. Коротко І. Технології і технічні засоби сівби в системі мінімального та нульового обробітку ґрунту / І. Коротко, А. Сташевська // Техніка і технологія АПК.– 2011.– №2.– С.21–24.
6. Кравченко В. Техніко-технологічні системи обробітку ґрунту в Україні. Стан і переваги (поради до часу) / В. Кравченко, В. Погорілий, О. Рожанський, О. Бондар // Техніка і технологія АПК. – 2011. – № 4. – С. 6–9.
7. Летошнев М.В. Сельскохозяйственные машины. Теория расчета, проектирование и испытание / М.В. Летошнев.–[2–е изд.]. – М.,Л.: Печатный Двор. – 1949. – 856 с.
8. Пархоменко Г.Г. Определение тягового сопротивления почвообрабатывающих машин / Г.Г. Пархоменко, В.Н. Щириков // Механизация и электрофикация сельского хозяйства. – 2011. – № 8. – С. 23–24.
9. Петерсен Майк. Нові перспективи із стрип тілл. Ґрунтозахисна технологія стрип тілл дозволяє поєднати переваги традиційного землеробства і прямої сівби / Майк Петерсен, С. Грінченко // The Ukrainian Farmer. – 2012. – № 8. – С. 88–90.

10. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник / [Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.] ; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.

11. Система землеробства No-Till.: навч. посіб. / М.П. Косолап, О.П. Кротінов. – К.: Логос, 2011. – 352 с.

12. Melnychuk M. Methodological bases of agricultural bioconversion complexes development / M. Melnychuk, V. Dubrovin, V. Targonya, S. Dragnyev // Motrol. – 2013. – т. Vol.15. – No 3. – Lublin, – P. 3–12.

13. Zubko V. Technology and economic assessing machines for rural farms at conduct of processing soil before and sowing and sowing winter wheat / V. Zubko, V. Onychko, T. Hvorost, V. Chuba // Motrol. – 2013. – т. Vol.15. – No 3. – Lublin. – P. 150–156.

*Приведена координатно-пространственная оценка предпосевной обработки почвы с применением коэффициента интенсивности.*

***Предпосевная обработка почвы, координатно-пространственная оценка, коэффициент интенсивности.***

*The coordinate spatial assessment of pre-sowing tillage of soil with the use of a coefficient of intensity is given.*

***Pre-sowing soil tillage, coordinate spatial assessment, coefficient of intensity.***

УДК 621.86

## **ДО ПИТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ НАВИВНИХ ЗАГОТОВОК**

***А.П. Драган, кандидат технічних наук  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

*Визначено співвідношення між характеристичними параметрами технологічного процесу формоутворення навивних заготовок. Виконано геометричну побудову схеми рухів системи для знаходження груп перетворень, які зв'язані з заданим технологічним процесом і керуванням верстатом.*

***Гвинтова заготовка, формоутворення, робочий інструмент.***

У різних галузях народного господарства і в сільськогосподарському виробництві перспективу використання мають гвинтові деталі різних шнекових робочих органів, особливо у конструкціях гвинтових транспортерів, змішувачів, протруювачів та ін. Тому питання математичного моделюван-

10. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник / [Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.] ; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.

11. Система землеробства No-Till.: навч. посіб. / М.П. Косолап, О.П. Кротінов. – К.: Логос, 2011. – 352 с.

12. Melnychuk M. Methodological bases of agricultural bioconversion complexes development / M. Melnychuk, V. Dubrovin, V. Targonya, S. Dragnyev // Motrol. – 2013. – т. Vol.15. – No 3. – Lublin, – P. 3–12.

13. Zubko V. Technology and economic assessing machines for rural farms at conduct of processing soil before and sowing and sowing winter wheat / V. Zubko, V. Onychko, T. Hvorost, V. Chuba // Motrol. – 2013. – т. Vol.15. – No 3. – Lublin. – P. 150–156.

*Приведена координатно-пространственная оценка предпосевной обработки почвы с применением коэффициента интенсивности.*

***Предпосевная обработка почвы, координатно-пространственная оценка, коэффициент интенсивности.***

*The coordinate spatial assessment of pre-sowing tillage of soil with the use of a coefficient of intensity is given.*

***Pre-sowing soil tillage, coordinate spatial assessment, coefficient of intensity.***

УДК 621.86

## **ДО ПИТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ НАВИВНИХ ЗАГОТОВОК**

***А.П. Драган, кандидат технічних наук  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

*Визначено співвідношення між характеристичними параметрами технологічного процесу формоутворення навивних заготовок. Виконано геометричну побудову схеми рухів системи для знаходження груп перетворень, які зв'язані з заданим технологічним процесом і керуванням верстатом.*

***Гвинтова заготовка, формоутворення, робочий інструмент.***

У різних галузях народного господарства і в сільськогосподарському виробництві перспективу використання мають гвинтові деталі різних шнекових робочих органів, особливо у конструкціях гвинтових транспортерів, змішувачів, протруювачів та ін. Тому питання математичного моделюван-

ня процесів їх формоутворення з метою забезпечення більшої точності параметрів та продуктивності технологічних процесів є актуальними.

Як показав аналіз відомих досліджень [1, 3] питання розроблення адекватних математичних моделей, результати яких можна використати при проектуванні реальних технологічних процесів навівання гвинтових заготовок, нині недостатньо розроблені.

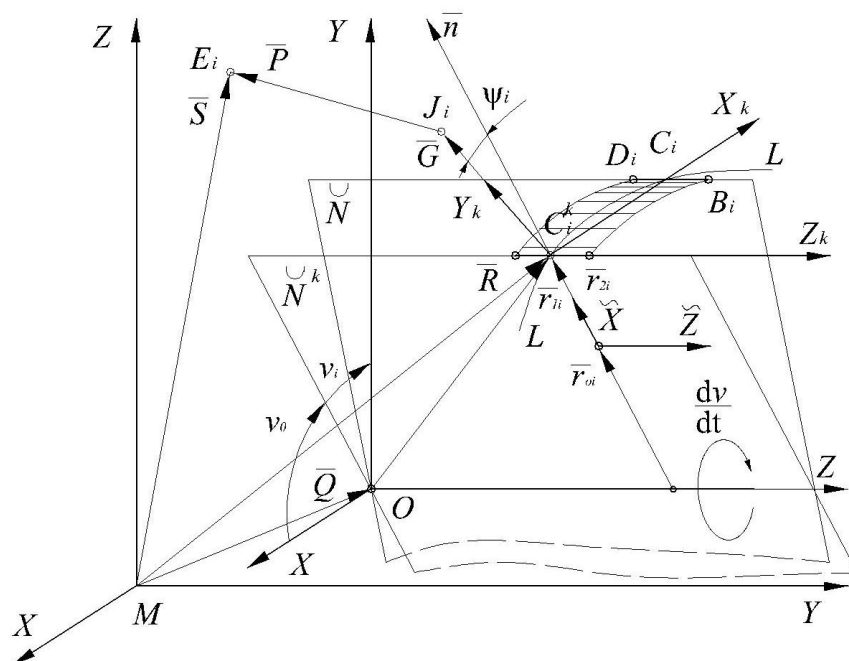
**Мета досліджень** – розроблення математичної моделі формоутворення навивних заготовок.

**Результати досліджень.** При виготовленні різнопрофільних навивних заготовок (НЗ) із складною геометрією рухи робочих органів технологічного обладнання повинні відповідати заданому технологічному процесу формоутворення. Саме тому необхідно визначити співвідношення між характеристичними параметрами згаданого процесу. Зручним об'єктом для параметризації є формоутворюючий інструмент, рухи якого визначаються органами керування верстата та конструктивними особливостями схеми формоутворення.

Для вивчення характеру відносних переміщень введемо такі координатні системи (рисунок):

$UVW$  – система координат верстата, причому напрямки осей  $MU$ ,  $MW$ ,  $MV$  збігаються з напрямками відповідно поперечної, поздовжньої та вертикальної подач.

$XYZ$  – власна система координат навивної заготовки [3], причому  $OX \parallel MU$ ,  $OY \parallel MV$ ,  $OZ \parallel MW$ .



**Розрахункова схема для визначення координат розміщення виконавчих органів верстата і точки контакту інструмента з поверхнею навивної заготовки в процесі її формоутворення**

$X_K Y_K Z_K$  – рухома система координат з початком відліку у точці  $C_i$  контакту формуючого елемента інструмента з поверхнею навивної заготовки, а вісь  $C_i X_K$  завжди направлена по дотичній до характеристичної лінії  $L-L$  цієї заготовки, вісь  $C_i Y_K$  направлена вздовж нормалі до лінії  $L-L$ ,  $C_i Z_K \parallel MW$ .

Кут  $\psi = \vec{n} \wedge C_i Y_K$  визначає відхилення контактної площини від координатної осі  $MW$ , де  $\vec{n}$  – нормаль до поверхні  $F$  НЗ.

У процесі виготовлення НЗ інструментом, твірна робочої поверхні якого не характеризується певним радіусом кривини (точковий контакт), характер взаємодії інструмента із заготовкою легко відслідковується у випадку подання її геометрії поверхонь у вигляді параметричного виразу [3]:

$$\begin{aligned} x = [r_0 \langle \chi_0 \rangle + r_1 \langle \chi_1 \rangle \cos(\psi_0 + \alpha_p + \langle b \rangle \langle dv/dt \rangle) + r_2 \langle \chi_2 \rangle \sin(\alpha_0 + \\ + \alpha_p + \langle b \rangle \langle dv/dt \rangle)] \cos(\psi_0 + t \, dv/dt); \quad y = [r_0 \langle \chi_0 \rangle + r_1 \langle \chi_1 \rangle \cos(\alpha_0 + \\ + \alpha_p + \langle b \rangle \langle dv/dt \rangle) + r_2 \langle \chi_2 \rangle \sin(\psi_0 + \alpha_p + \langle b \rangle \langle dv/dt \rangle)] \sin(t \, dv/dt + \\ + \psi_0); \quad z = z_0 + r_1 \langle \chi_1 \rangle \sin(\psi_0 + \alpha_p + \langle b \rangle \langle dv/dt \rangle) - r_2 \langle \chi_2 \rangle \cos(\alpha_0 + \\ + \alpha_p + \langle b \rangle \langle dv/dt \rangle) + \hat{C} \langle dv/dt + \alpha_0 \rangle \end{aligned} \quad (1)$$

де  $r_0 \langle \chi_0 \rangle, r_1 \langle \chi_1 \rangle, r_2 \langle \chi_2 \rangle$  – функціональні радіус-вектори;  $\chi_i$  – незалежна змінна відповідного  $i$ -го функціонального радіус-вектора;  $\alpha_p$  – кутова характеристика профілю;  $dv/dt, d\alpha_p/dt$  – кутові швидкості обертання відповідно площини  $N$  (радіус-вектора  $r_0 \langle \chi_0 \rangle$ ) та радіус-вектора  $r_1 \langle \chi_1 \rangle$ ;  $\hat{C}$  – параметр кроку гвинтової лінії:  $\hat{C} = T/2\pi$ .

У випадках, коли формоутворюючий інструмент має складу форму задача значно ускладнюється.

Припустимо, що рух точки  $E$  здійснюється відповідно до переміщень, які задаються керуючими механізмами верстата. Оскільки задача керування верстатом зводиться до координації рухів окремих ланок його механізмів для реалізації необхідного процесу формоутворення, то вирішення забезпечується введеною параметризацією. Для цього достатньо виявити між координатами точок  $E$  і  $C$  взаємопов'язані співвідношення, тобто виявити вид функціональної залежності, при якій довільна точка  $C$  збігається з іншою відповідною точкою  $E$ . Ця задача зводиться до вивчення групи твердих переміщень у рімановому просторі. Розглянемо, зокрема, безперервні групи переміщень для випадку виготовлення НЗ методом навивання для величини калібру співвідносного з шириною спіралі, а також оброблення НЗ різанням. Для цього припустимо, що основна поверхня ГЗ задана у вигляді рівняння (1), яка визначена у власній системі

координат [3]. Для спрощення розрахунків прийmemo:  $\alpha'_i = 0$ ;  $\chi_i = 0$ ,  $i = 1, 3$ ;  $z_o = 0$ ;  $\alpha_p = 0$ ;  $b = 1$ .

Групи перетворень твердих переміщень визначаються, виходячи із таких умов.

1. Будь-який вектор, що є нормальним до траєкторії  $\sum C$ , є інваріантом загального переміщення групи  $g$ , які зберігають нерухомими точки  $E$ .

2. Якщо відомий рімановий простір розмірністю  $m + f$ , перетворений групою переміщень, траєкторії яких мають розмірність  $m$ , то завжди можна вибрати систему координат  $x^1, x^2, \dots, x^m$ ;  $U^1, U^2, \dots, U^m$  так, щоб  $m$  перших координат перетворювались транзитивно між собою, а  $f$  наступних залишились інваріантними.

З врахуванням цих умов виконано геометричну побудову схеми рухів системи для знаходження груп перетворень, які зв'язані з заданим технологічним процесом і керуванням верстатом. Виходячи із такої побудови:

$$\overrightarrow{S(E)} = \overrightarrow{P} + \overrightarrow{G} + \overrightarrow{R} = \overrightarrow{P} + \overrightarrow{G} + \overrightarrow{Q} + \overrightarrow{R}_C, \quad (2)$$

де  $\overrightarrow{Q} = U_Q \vec{i} + W_Q \vec{j} + V_Q \vec{k}$ ;  $\overrightarrow{R} = U_C^K \vec{i} + W_C^K \vec{j} + V_C^K \vec{k}$ ;  $\overrightarrow{S(E)} = U \vec{i} + W \vec{j} + V \vec{k}$ ;

$\overrightarrow{P} = U_P \vec{i} + W_P \vec{j} + V_P \vec{k}$ ;  $\overrightarrow{R}_C = \Delta_1 x_C \vec{i} + \Delta_2 x \vec{j} + z_C^* \vec{k}$ ;

де  $\Delta_1 = \cos \left[ \arctg \left( \frac{V_o}{x} \right) - \arctg \left( \frac{V_o}{x_o} \right) \right] = \cos \left( \varphi'_t \right)$ ;

$\Delta_2 = \sin \left[ \arctg \left( \frac{V_o}{x} \right) - \arctg \left( \frac{V_o}{x_o} \right) \right] = \sin \left( \varphi'_t \right)$ .

Згідно з умовою (2) припустимо, що  $\overrightarrow{G} \perp MW$ , тоді вектор  $\overrightarrow{G}$  можна подати у вигляді:

$$\overrightarrow{G} = \rho_i \overrightarrow{n_w} = \rho_i \left( \frac{\overrightarrow{\text{grad } F(C_i)}}{\left| \overrightarrow{\text{grad } F(C_i)} \right|_{W=\cos t}} \right) = \rho_i \left( -\frac{V'_{ot} \vec{i}}{\sqrt{U'^2_{ot} + V'^2_{ot}}} + \frac{\vec{k}}{\sqrt{1 + V'^2_{ot} / U'^2_{ot}}} \right), \quad (3)$$

де  $\rho_i$  – характеристичний параметр інструмента;  $\overrightarrow{n_w}$  – одиничний вектор:  $\overrightarrow{n_w} \perp MW$ .

Похідні за часом відповідних координат у точці контакту з інструментом визначаються із матричного перетворення:

$$\begin{pmatrix} U'_{ot} \\ V'_{ot} \\ W'_{ot} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U'_t \\ V'_t \\ W'_t \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta_1 & \Delta_2 & 0 & 0 \\ -\Delta_2 & \Delta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Одиничний вектор  $\overrightarrow{n_w}$  вважається додатним, якщо дивлячись із початку координат, спостерігач бачить, що при обході поверхні деталі зліва направо інструмент залишається з лівої сторони відносно поверхні і від'ємним – якщо з правої.

Величина характеристичного параметра інструмента  $\rho_i$  визначається розміщенням формоутворюючого інструмента у рухомій системі координат, за умови дотику контактної площини до оброблюваної поверхні. Однак у процесі формоутворення розташування інструмента відносно рухомої системи координат змінюється в процесі відносного переміщення характеристичної лінії  $L-L$  [3], це дає підстави стверджувати, що  $\rho_i = \rho_i \vec{\epsilon}_i$ . Ця умова особливо актуальна у випадках формоутворення поверхні операціями різання та зміцнення [1].

Згідно з побудовою вектор  $\vec{G}$  збігається з віссю  $C_i Y_K$ , а його значення у тій же системі координат слід визначати як функцію  $Y_K = \rho_i \vec{\epsilon}_i$ , значення якої залежить від розташування формоутворюючого інструменту.

Проектуючи рівняння (2) на осі координат верстата, отримаємо:

$$\begin{aligned} U &= U_C^K \pm \left( U_P + \rho_i \vec{\epsilon}_i \frac{Y'_t}{\sqrt{U'^2_t + V'^2_t}} \right); \\ W &= W_C^K + W_P; \\ V &= V_C^K \pm \left( V_P + \rho_i \vec{\epsilon}_i \frac{V'_t}{\sqrt{1 + U'^2_t}} \right), \end{aligned} \quad (5)$$

де  $U, W, V$  – координати точки  $E$ , яка визначає розміщення виконавчих органів верстата;  $\rho_i \vec{\epsilon}_i \frac{V'_t}{\sqrt{U'^2_t + V'^2_t}}$  – функції кутів нахилу контактної площини формоутворюючого інструмента;  $U_P, W_P, V_P$  – координати вектора  $P_E$ , величина якого визначається конструктивними особливостями технологічного устаткування. У багатьох випадках визначення його величини пов'язано зі значними труднощами, тому можна прийняти  $U_P = W_P = V_P = 0$ .

У рівнянні (5) верхні знаки: “+” використовуються при додатньому значенні одиничного вектора, “-” при від’ємному.

Аналіз запропонованих рівнянь (5) показує, що існують поверхні, в процесі формоутворення яких не забезпечується змінний кут нахилу контактної площини. Для забезпечення цього зв'язку необхідно переміщувати формоутворюючий інструмент, розглядаючи його у просторі як жорстко зв'язаний з рухомою системою координат  $CX_K Y_K Z_K$  і як рухоме тіло відносно цієї системи. В результаті такого підходу зв'язок між робочими переміщеннями можна виразити у вигляді рівнянь у переміщеннях:

$$\begin{aligned} \Delta U_E &= \left[ 1 - \frac{\rho_i \vec{\epsilon}_i \xi_{1i}}{\sqrt{1 + \epsilon_2^2}} + \frac{\rho_i \vec{\epsilon}_i \xi'_i \epsilon_2}{x'_i \sqrt{1 + \epsilon_2^2}} \right]; \\ \Delta W_E &= \rho_i \vec{\epsilon}_i \xi'_i \text{ctg} \xi \Delta U_C^K; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\Delta V_E = \left[ \varepsilon_2 - \frac{\rho_i \xi_{1i} \varepsilon_2}{\sqrt{1 + \varepsilon_2^2}} - \frac{\rho_i \xi'_i}{x'_i \sqrt{1 + \varepsilon_2^2}} \right],$$

де  $\varepsilon_1 = \left| \frac{U'_t}{U''_{tt}} \quad \frac{V'_t}{V''_{tt}} \right| / \sqrt{U'^2_t}$ ;  $\varepsilon_2 = V'_t / U'_t$ ;  $\Delta U_E, \Delta W_E, \Delta V_E$  – величини переміщень виконавчих органів верстата;  $\varepsilon_{1i} / \sqrt{1 + \varepsilon_2^2}$  – кривина координатної лінії оброблюваної поверхні ГЗ.

У процесі формоутворення поверхонь вказаних заготовок у багатьох випадках має місце умова:  $\psi = \psi$ . Тоді у рівнянні (1) вектор  $\vec{G} = \vec{G}(\psi, C)$ . Причому

$$\vec{G}(\psi, C) = \rho \xi(\psi) \left( \frac{\text{grad } F(\mathbf{C})}{|\text{grad } F(\mathbf{C})|} \right)_{W=\text{const}}, \quad (7)$$

$$\xi(\psi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & \sin \psi \\ 0 & -\sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix}.$$

де  $\xi(\psi)$  – матриця Верзора:

Підставивши вираз (6) у рівняння (1) та спроектувавши його на осі координат, отримуємо:

$$\begin{aligned} \tilde{U} &= U_C^K \pm \left( V_P + \rho_i \xi_{1i} \sqrt{U'^2_t + V'^2_t} \right); \\ W &= W_C^K + \left( V_P + \rho_i \xi_{1i} \sin \psi / \sqrt{1 + U'^2_t / U'^2_t} \right); \\ V &= V_C^K \pm \left( V_P + \rho_i \xi_{1i} \cos \psi / \sqrt{1 + U'^2_t / U'^2_t} \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Розкладемо вираз (3), підставивши в нього залежність (5) у ряд Тейлора в околі довільної точки  $E_o$  у момент часу  $t_o$ :

$$\vec{S}(\mathbf{E}) = \vec{S}(\mathbf{E}_o) + \vec{S}'(\mathbf{E}_o) + \vec{S}''(\mathbf{E}_o) / 2 + \dots, \quad (9)$$

де  $E_o$  – початкове положення точки  $E$ .

Обмежившись величиною малості другого порядку у формулі (8), слід зазначити, що закон переходу із будь-якого кінематичного стану верстата у сусідній в першому наближенні можна завжди характеризувати криволінійним переміщенням точки  $E$  по дотичній до траєкторії еквідистантної кривої, визначеної в околі цієї точки. Тоді вектор абсолютного переміщення точки  $E$ :  $d\vec{S} = \Delta \vec{S}(\mathbf{E}) = \vec{S}(\mathbf{E}) - \vec{S}(\mathbf{E}_o)$ . Диференціюючи вираз (2), отримуємо:

$$\begin{aligned} \vec{dS} = \vec{dR}_{C_i} + \vec{dP}_t + \rho \zeta' \psi \vec{d} \left( \frac{\text{grad } F \mathbf{C}_i}{|\text{grad } F \mathbf{C}_i|} \right)_{W=const} + \\ + \rho \left( \frac{\text{grad } F \mathbf{C}_i}{|\text{grad } F \mathbf{C}_i|} \right)_{W=const} d\zeta' \psi \end{aligned} \quad (10)$$

Прийнявши, що  $\vec{P} = 0$ , а останній член цього виразу суттєво не впливає на кінематику розглядуваного процесу, тоді процес формоутворення буде здійснюватися поєднанням декількох елементарних рухів. Розглядаючи одні з них як переносні, а інші як відносні, можна реалізувати їх взаємодією кінематичних ланцюгів механізмів верстата, які визначатимуть переміщення інструмента відповідно до обертання оправы.

Отже, взаємозалежні рухи кінематичних ланцюгів визначимо із проєкцій векторів рівняння (10) на координатні осі:

$$\begin{aligned} \Delta \tilde{U}_E &= \left( 1 - \frac{\rho_i \zeta' \psi (\varepsilon_2^2 - \varepsilon_2)}{(\varepsilon_2^2)^{3/2}} \right) \Delta U - \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_3 \rho_i \zeta' \psi (\varepsilon_2^2 - \varepsilon_2)}{(\varepsilon_2^2)^{3/2}} \Delta W ; \\ \Delta \tilde{W}_E &= \left( 1 - \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_3 \rho_i \zeta' \psi \sin \psi}{(\varepsilon_2^2)^{3/2}} \right) \Delta W + \frac{\rho_i \zeta' \psi \varepsilon_1 \sin \psi}{(\varepsilon_2^2)^{3/2}} \Delta U ; \\ \Delta \tilde{V}_E &= \left( \frac{V'_t}{W'_t} - \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_3 \rho_i \zeta' \psi \cos \psi}{(\varepsilon_2^2)^{3/2}} \right) \Delta W + \left( \varepsilon_2 - \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_3 \rho_i \zeta' \psi \cos \psi}{(\varepsilon_2^2)^{3/2}} \right) \Delta U , \end{aligned} \quad (11)$$

де  $\Delta \psi = d\psi$ ;  $\varepsilon_3 = x'_t / y'_t$ .

Таким чином, абсолютна криволінійна траєкторія руху виконавчих органів верстата описуватиметься формулою:

$$S_{TP} = \sum_{i=1}^{\lambda} d\tilde{U}_i, d\tilde{W}_i, d\tilde{V}_i, d\psi_i \quad (12)$$

де  $\lambda$  – кількість опорних точок характеристичної лінії контуру поверхні навивної заготовки.

У випадку дослідження процесів формоутворення НЗ, ширина стрічки яких змінюється за відомою залежністю  $B = B(\zeta)$ , можна розглядати рівняння оправы як функцію, що диференціюється, а параметр інструмента  $\rho_i = \rho_i(\zeta) + B(\zeta)$ .

### Висновки

Запропонований метод математичного моделювання процесу формоутворення навивних заготовок дає можливість:

1) визначити послідовність зладжених переміщень ланок виконавчих механізмів, які забезпечують реалізацію заданих питань вихідного технологічного завдання;

2) розрахувати траєкторію переміщень формоутворюючого інструмента і підготувати необхідну документацію;

3) використовувати одержані формули для розрахунку і проектування необхідного технологічного устаткування та формоутворюючого інструмента;

4) у процесі проектування нового обладнання правильно вибрати кінематику виконавчих органів верстата;

5) здійснювати попередні дослідження вказаних процесів у режимі аналітичного 3D-моделювання.

### Список літератури

1. Гевко Б.М. Технология изготовления спиралей шнеков / Б.М. Гевко. – Львов.: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1986. – 128 с.

2. Пилипець М.І. Технологія виготовлення гвинтових деталей різних типорозмірів / М.І. Пилипець, І.Б. Гевко // Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей. – Луцьк: ЛДТУ, 2000. – Вип. 7. – С. 120–127.

3. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових деталей / [Гевко Б.М., Ляшук О.Л., Гевко І.Б. та ін.]. – Тернопіль: Вид-во Тернопільського нац. техн. ун-ту ім. І. Пулюя, 2008. – 367 с.

*Определено соотношение между характеристическими параметрами технологического процесса формообразования винтовых заготовок. Выполнено геометрическое построение схемы движений системы для нахождения групп преобразований, связанных с заданным технологическим процессом и управлением станком.*

***Винтовая заготовка, формообразование, рабочий инструмент.***

*The correlation between the characteristic parameters of the process of forming navyvnyh blanks. Done geometric construction scheme for finding the movements of groups of transformations that are associated with a given process and machine control.*

***Screw blanks, shaping, working tools.***

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ДИСКОВИХ НОЖІВ ПРИ РОЗРІЗУВАННІ ЕЛАСТОМЕРІВ

*І.В. Логуш, І.І. Чвартацький, В.І. Диня, кандидати технічних наук  
А.В. Грабар, старший викладач  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»*

*Наведено конструкцію пристрою до заточувального верстата для заточування дискових ножів, ножових блоків для розрізування еластомерів конвеєрних стрічок заданих розмірів. У результаті експериментальних досліджень встановлено межу працездатності ножів у часовому просторі й режими різання та заточування ножів.*

***Стійкість дискових ножів, еластомери, заточувальний пристрій.***

Стрічкові конвеєри використовують для безпосереднього переміщення насипних та дрібних штучних вантажів у горизонтальному, похилому і вертикальному напрямках. Вони широко застосовуються у сільському господарстві, гірничодобувній, металургійній промисловості та інших галузях народного господарства завдяки таким позитивним характеристикам:

безперервності транспортування, що сприяє підвищенню продуктивності машин, які працюють у комплексі зі стрічковими конвеєрами;  
простоті конструкцій, надійності й зручності обслуговування;  
можливості повної автоматизації із застосування систем регулювання і контролю;

можливості розвантаження вантажу в будь-якому місці траси.

Основними робочими органами стрічкових конвеєрів є гумотканинні стрічки, так звані еластомери. Найширше розповсюджені гумотканинні стрічки, які складаються з гумотканинного пошарового тягового каркаса, зовнішніх гумових обкладинок, які захищають каркас від механічних пошкоджень і дії на нього вологи, газів, агресивних середовищ. Залежно від умов експлуатації й призначення виготовляють стрічки загального призначення, морозостійкі, теплостійкі, харчові й вогнетривкі. Для дисперсних і отруйних матеріалів застосовують трубочасті стрічки.

Гумотканинні стрічки – найпоширеніші й складаються з тягового каркаса, захищеного з усіх боків привулканізованими до нього еластичними обкладками. Тяговий каркас виготовлений з тканинних прокладок, з'єднаних між собою тонкими гумовими прошарками, які надають стрічці більшої гнучкості.

Тканина складається з ниток основи (бавовняної, синтетичної, віскозного шовку та ін.), які сприймають поздовжнє навантаження, та ниток утоку, що забезпечують поперечну жорсткість стрічки.

Тягове зусилля в гумово-тросових стрічках сприймається металевими тросами.

**Мета досліджень** – розроблення конструкції пристрою до заточувального верстата для заточування дискових ножів, встановлення часу надійної та якісної їх роботи й визначення режимів заточування.

Робота виконана згідно з Постановою Кабінету Міністрів України “Про розвиток сільськогосподарського машинобудування й забезпечення агропромислового комплексу конкурентноздатною технікою на 2010...2015 рр”.

**Матеріали та методика досліджень.** Широкого застосування в приводах машин, стрічкових і пруткових транспортерах замість ланцюгових передач набули конвейєрні стрічки (КС) з відкритими трапецієподібними виступами для зачеплення з відповідними шліцьовими виступами на приводних валах, що забезпечує передачу обертового руху без пробуксування та перекосів. До їх переваг належать безшумність роботи та зменшення пошкодження коренеплодів у процесі транспортування. Промисловість Німеччини експортує такі гумово-бавовняні конвеєрні стрічки в рулонах шириною 0,9–2 м і довжиною 50 м у різні країни світу, в тому числі й Україну. Для одночасного розрізування рулонів на смуги певної ширини з можливістю її регулювання виникла проблема у створенні відповідного устаткування з блоками різальних інструментів і механізмами регулювання відстані між ними.

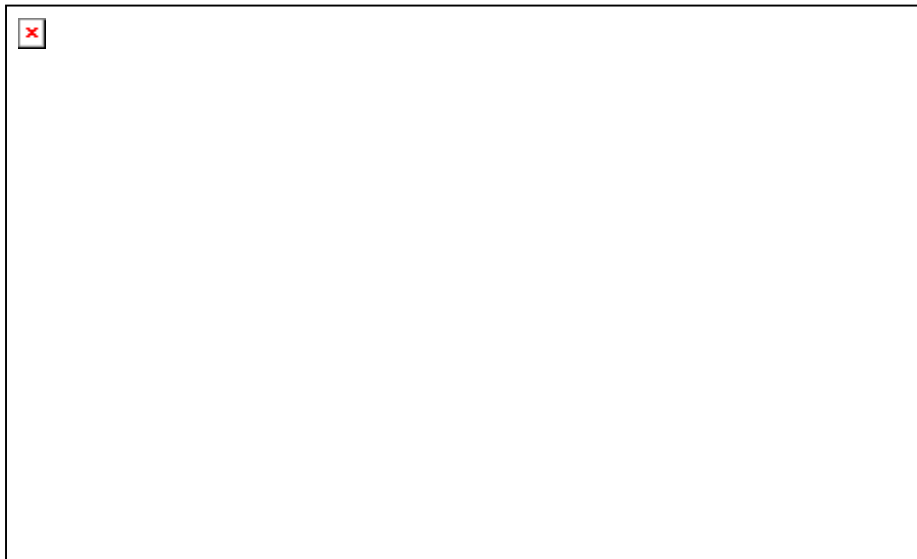
**Результати досліджень.** Верстат для заточування ножових блоків для розрізування гладкої конвейєрної стрічки на смуги показано на рис.1. Його виконано у вигляді U-подібного кронштейна 1, знизу якого встановлено поворотний шток 2 з можливістю кругового повертання навколо вертикальної осі. В середині простору цього кронштейна встановлено ножовий блок, який виконано у вигляді двох паралельних приводних валів 3 з можливістю кругового повертання. На ці вали жорстко встановлено базуючі втулки на шпонках, а на базуючі втулки в певній послідовності жорстко встановлено різучі пари дискових ножів 4 у кількості, наприклад чотири, а розпірні втулки – на шпонки.

Паралельні приводні вали в зборі крайніми циліндричними цапфами 5 встановлено в опорні отвори 6 лівої 7 і правої 8 опор ножового блока з можливістю кругового повертання.

Ножові блоки в зборі з'єднуються двома стяжними болтами 9, що стягують опори 7 і 8, які розміщені в зоні взаємодії дискових ножів 4 і повертаються на 180° на цапфах. Фіксація ножових блоків у цих позиціях здійснюється за допомогою конічних фіксаторів 10 з пружинами стиснення в конічних отворах, які розміщені знизу і зверху на лівій опорі 7.

Крім цього, ліва і права опори встановлені своїми цапфами у відкриті циліндричні гнізда 11 зверху лівої і правої вилок 12 U-подібного кронштейна 1. Цапфи розміщені ззовні ножового блока посередині їх довжини з можливістю повертання на 180°, а зверху закриті кришками 13, які повертаються на шарнірах 14 з можливістю повертання на 90°, а закріплення відкидної кришки здійснюється гайкою.

Привод дискових ножів 4 ножового блока здійснюється за допомогою шківів 15, на який одягають приводний пас (на рисунку не показано). Приведення валів здійснюється від приводного шківів, який жорстко встановлений на багатогранний конічний приводний елемент 16, що по чергово взаємодіє з відповідним конічним багатогранником, виконаним з прямих кінців валів, які до них кріпляться кріпильними болтами через шайби гравера в різьбових отворах у приводних валах 3. Заточування дискових ножів 4 здійснюється абразивними кругами попарно. Закінчивши процес заточування, ножовий блок знімають із заточувального верстата і встановлюють на установку для розрізування конвейєрної стрічки.



**Рис. 1. Верстат для заточування ножових блоків для розрізування гладкої конвейєрної стрічки на смуги**

Робота із заточування ножових блоків здійснюється так. Ножовий блок у зборі з U-подібним поворотним кронштейном 1 встановлюється на поздовжній супорт заточувального верстата за допомогою спеціального пристрою верстата (на кресленні не показано). До приводного шківів 8 під'єднують пас від спеціального приводного електродвигуна (на кресленні не показано), який жорстко кріпиться по чергово до приводних валів 2 за допомогою шестигранного конусного елемента. Два заточувальні чашкові круги підводяться до різальних кромки дискових ножів 4. Після цього вмикається верстат, з верхнього приводного вала 2 знімають конічний багатогранник, відкрутивши кріпильний болт. Також фіксатор 15 відводять вліво з конічного отвору і повертають ножовий блок на  $180^\circ$ .

У цьому положенні ножовий блок фіксується фіксатором 6 у другому крайньому конічному отворі, який розміщений на другому кінці лівої опори 5. Технологічний процес заточування ножів 4 на другому приводному валу 2 здійснюється аналогічно до попереднього. Після закінчення процесу заточування всіх різальних ножів 6 ножовий блок знімають із заточувального верстата, а на його місце встановлюють наступний.

Як абразивні круги 7 використовують чашкові круги з абразивного матеріалу – електрокорунд нормальний або білий, зернистістю 10...30 мкм. Режим роботи заточування: швидкість заточування  $V=12...15$  м/с; подача  $S=5...10$  м/хв, глибина різання при заточуванні  $t=0,08...0,1$  мм/хв.

Основною проблемою в проектуванні різальних дискових ножів (ДН) і виборі режимів різання є їх засалювання гумою, налипання та димлення і, як наслідок, забруднення навколишнього середовища. Тому першочергово необхідно було розв'язати задачу з двома протиріччями: максимальна продуктивність процесу різання за обмеженої швидкості різання і відсутність нагрівання інструментів до температури плавлення матеріалу корду.

Обмежену швидкість різання визначено експериментально. В результаті експериментальних досліджень встановлено раціональну швидкість різання дисковими ножами в межах  $V=0,15-0,25$  м/с.

Діаметр дискових ножів вибрано за умови міцності приводного вала, товщини конвейєрної стрічки, нормальних умов роботи та інших конструктивних параметрів установки за формулою:

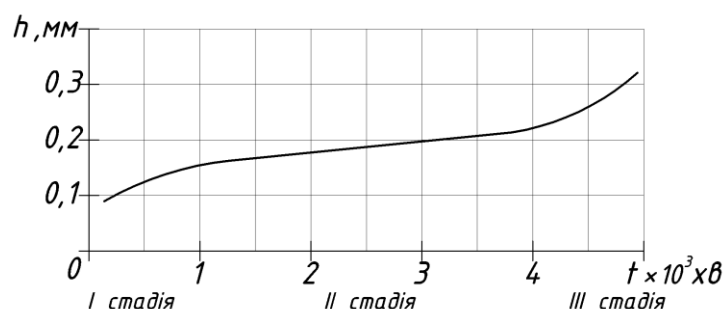
$$D=d_в+(D_{см}-d_в)/2+H+\delta+\frac{\Delta}{2} \quad (1)$$

де  $D_{см}$ ,  $d_в$  – відповідно діаметр ступиці та діаметр її внутрішнього отвору, що дорівнює діаметру приводного вала, мм;  $H$  – товщина конвейєрної стрічки, мм;  $\delta$  – величина перекриття ножів ( $\delta \approx 0,2-0,8$ ) мм;  $\Delta$  – величина зазору між ступицею і конвейєрною стрічкою, мм.

Врахувавши вищевикладене, було встановлено, що доцільно зовнішній діаметр ножів приймати в межах  $D=130-150$  мм.

Кут заточування вибрано експериментально, дорівнює  $\alpha = 12, 19, 25^\circ$  і  $30^\circ$ . У результаті експериментів, з точки зору стійкості й нормальних умов роботи, рекомендовано його вибирати в межах  $\alpha = 16-22^\circ$ .

У результаті експериментальних досліджень стійкості чотирьох пар ножових блоків, тобто 12 ножів з роботою 12 змін по 4 – 6 год встановлено величини зношення, за якими побудовано графік (рис. 2). Матеріал ножів – сталь У7А, твердість HRC = 58 – 64.



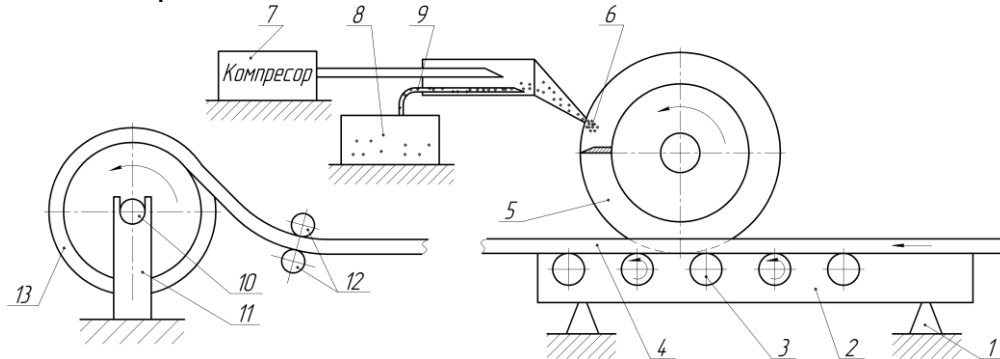
**Рис. 2. Залежність стійкості дискових ножів у процесі розрізування гладкої конвейєрної стрічки на смуги від часу роботи**

За допустимий критерій зношення дискових ножів вибрано величину 0,20 мм на діаметр, яку рекомендовано [2] та підтверджено нашими дослідженнями. Заміри зношування дискових ножів здійснювали мікрометра-

ми по зовнішньому діаметру після певних періодів роботи. Точність мікрометра – 0,01 мм.

З графіка бачимо, що при роботі 35–42 тис. хв заточування ножів є гранично допустимим і їх протягом цього часу немає потреби заточувати.

Розроблено спосіб різання конвейерної стрічки з використанням повітряно-крапельного охолодження, що забезпечує зменшення у 1,5...1,8 раза швидкості різання і підвищення стійкості ножів – на 15...22 %.



**Рис. 3. Установка для розрізування конвейерних стрічок на смуги з використанням повітряно-крапельного охолодження:**

1 – рама; 2 – рольганг; 3 – опорні ролики; 4 – конвейерна стрічка; 5 – дискові ножі; 6 – повітряно-крапельне охолодження; 7 – компресор; 8 – резервуар стисненого повітря; 9 – подача води; 10 – опорний вал; 11 – опора; 12 – направляючі ролики; 13 – бухта

Для визначення величини зношення  $h$  використано емпіричну залежність

$$h = \begin{cases} a\sqrt{t}, \text{ при } 0 \leq t \leq t_1; \\ bt + k_1, \text{ при } t_1 \leq t \leq t_2; \\ c(t - t_2)^2 + k_2, \text{ при } t_2 \leq t \leq t_3, \end{cases} \quad (2)$$

де  $t_1, t_2$  і  $t_3$  – час закінчення відповідно I, II і III стадій процесу зношування, хв;  $k_1$  – величина, яка чисельно дорівнює значенню часу  $t$  в кінці I стадії, хв;  $k_2$  – величина, що чисельно дорівнює значенню величини зношення в точці з часом  $t_2$ , мм;  $a, b$  і  $c$  – поправочні коефіцієнти, які залежать від матеріалу деталей і відповідно дорівнюють  $a = 0,0035$  мм/хв<sup>1/2</sup>,  $b = 1,05 \cdot 10^{-5}$  мм/хв і  $c = 0,14 \cdot 10^{-5}$  мм/хв<sup>2</sup>.

Коефіцієнти  $a, b$  і  $c$  отримано експериментально, вони повною мірою відображають процес зношування різальних інструментів для матеріалу сталь У7А.

### Висновки

Розроблено конструкцію пристрою до заточувального верстата для заточування дискових ножів ножових блоків для розрізування еластомерів з різними характеристиками. Вибрано марки матеріалу ножів та наведено способи їх термообробки. Проведено експериментальні дослідження, якими встановлено раціональні конструктивні параметри ножів і раціона-

льні режими різання, їх заточування, термін експлуатації до заточування, а також три стадії зношування в процесі експлуатації.

### Список літератури

1. Лепетов В.А. Расчет и конструирование резиновых изделий / В.А. Лепетов, Л.Н. Юрцев. – Л.: Химия, 1987. – 408 с.
2. Мак-Келви Д.М. Переработка полимеров / Д.М. Мак-Келви; пер. с англ. – М.: Химия, 1965. – 440 с.
3. Пат. 45146 Україна, МПК (2011.01) B23Q 37/00. Спосіб нарізання конвеєрної стрічки на смуги / Броцак І. І., Гевко І. Б., Ляшук О.Л., Фльонц О.В., Дзюра В.О.; заявник і патентовласник Тернопільський нац. Техн. ун-т ім. Івана Пулюя. – № u200905466; заявл. 29.05.09; опубл. 26.10.09, Бюл. № 20.
4. Пат. 28728 Україна, МПК (2011.01) B23Q 37/00. Лінія для порізки конвеєрної стрічки / Матвійчук А.В., Броцак І.І., Фльонц О.В., Гевко Ів.Б.; заявники і патентовласники Матвійчук А.В., Броцак І.І., Фльонц О.В., Гевко Ів.Б. – № u200707019; заявл. 22.06.07; опубл. 25.12.07, Бюл. № 21.
5. Федюкин Д.Л. Применение резиново-технических изделий в народном хозяйстве / Д.Л. Федюкин. – М.: Химия. 1986. –240 с.

*Приведено конструкцію устро́йства к заточному станку для заточки дисковых ножей, ножевых блоков для разрезания эластомеров конвейерных лент на заданные размеры. В результате экспериментальных исследований установлено границу работоспособности ножей во временном пространстве и режимы резания и заточки ножей.*

***Устойчивость дисковых ножей, эластомеры, заточное устройство.***

*Design of the device is shown to the grinding machines for sharpening circular knives, knife blocks for cutting elastomeric belts on the specified dimensions. In experimental studies, a border health knives in a temporary space and cutting and sharpening.*

***Stability of disc knives, elastomers, sharpening device.***

УДК 631.862

### ОЦІНКА ВИХОДУ ГНОЇВКИ ПРИ УТРИМАННІ СВИНЕЙ ЗАЛЕЖНО ВІД ДОЗИ ПІДСТИЛКИ

***Г.А. Голуб, доктор технічних наук  
Р.Л. Швець, аспірант\****

*Розглянуто контрольоване використання гною свиноферм з плануванням його подальшого розподілу. Встановлено закономірності для визначення виходу гноївки залежно від дози підстилки.*

***Гноївка, свині, гній, вологість, підстилка.***

---

\*Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Г.А. Голуб

© Г.А. Голуб, Р.Л. Швець, 2014

льні режими різання, їх заточування, термін експлуатації до заточування, а також три стадії зношування в процесі експлуатації.

### Список літератури

1. Лепетов В.А. Расчет и конструирование резиновых изделий / В.А. Лепетов, Л.Н. Юрцев. – Л.: Химия, 1987. – 408 с.
2. Мак-Келви Д.М. Переработка полимеров / Д.М. Мак-Келви; пер. с англ. – М.: Химия, 1965. – 440 с.
3. Пат. 45146 Україна, МПК (2011.01) B23Q 37/00. Спосіб нарізання конвеєрної стрічки на смуги / Броцак І. І., Гевко І. Б., Ляшук О.Л., Фльонц О.В., Дзюра В.О.; заявник і патентовласник Тернопільський нац. Техн. ун-т ім. Івана Пулюя. – № u200905466; заявл. 29.05.09; опубл. 26.10.09, Бюл. № 20.
4. Пат. 28728 Україна, МПК (2011.01) B23Q 37/00. Лінія для порізки конвеєрної стрічки / Матвійчук А.В., Броцак І.І., Фльонц О.В., Гевко Ів.Б.; заявники і патентовласники Матвійчук А.В., Броцак І.І., Фльонц О.В., Гевко Ів.Б. – № u200707019; заявл. 22.06.07; опубл. 25.12.07, Бюл. № 21.
5. Федюкин Д.Л. Применение резиново-технических изделий в народном хозяйстве / Д.Л. Федюкин. – М.: Химия. 1986. –240 с.

*Приведено конструкцію устро́йства к заточному станку для заточки дисковых ножей, ножевых блоков для разрезания эластомеров конвейерных лент на заданные размеры. В результате экспериментальных исследований установлено границу работоспособности ножей во временном пространстве и режимы резания и заточки ножей.*

***Устойчивость дисковых ножей, эластомеры, заточное устройство.***

*Design of the device is shown to the grinding machines for sharpening circular knives, knife blocks for cutting elastomeric belts on the specified dimensions. In experimental studies, a border health knives in a temporary space and cutting and sharpening.*

***Stability of disc knives, elastomers, sharpening device.***

УДК 631.862

### ОЦІНКА ВИХОДУ ГНОЇВКИ ПРИ УТРИМАННІ СВИНЕЙ ЗАЛЕЖНО ВІД ДОЗИ ПІДСТИЛКИ

***Г.А. Голуб, доктор технічних наук  
Р.Л. Швець, аспірант\****

*Розглянуто контрольоване використання гною свиноферм з плануванням його подальшого розподілу. Встановлено закономірності для визначення виходу гноївки залежно від дози підстилки.*

***Гноївка, свині, гній, вологість, підстилка.***

---

\*Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Г.А. Голуб

© Г.А. Голуб, Р.Л. Швець, 2014

Гній тваринницьких ферм являє собою суміш твердих і рідких ексрементів тварин, розчинених у них мінеральних і газоподібних речовин, технологічної та змивної води, відходів корму. Маючи велику вологість, гній містить значну кількість мінеральних і органічних важко окислювальних речовин. Одночасно має досить великий запас сонячної енергії, акумульованої в біомасі. У процесі переробки вона є джерелом для одержання газоподібного палива на основі біометану, а також компостів на основі підстилкового гною та гноївки після метанового зброджування, які мають бути основним видом органічного добрива у рослинництві.

Фізико-хімічний склад гною залежить від умов та тривалості зберігання і може істотно змінюватися. Встановлено таку залежність: чим довше гній зберігається, тим більш високого ступеня розкладання він досягає, тим вище відновлювальний вміст у ньому азоту, фосфору, калію та інших елементів, але менше аміачного азоту і більші втрати органічної речовини. У зв'язку з цим, виникає необхідність в управлінні процесом перетворення гною в повноцінні органічні добрива.

Гноївка – рідина, яка виділяється з гною при його видаленні та зберіганні. Її використовують для виробництва компостів, як рідке органічне добриво і біосировину в біогазових технологіях [2].

Одним із найважливіших принципів виробництва компосту є додавання в початкову суміш вуглецевих матеріалів, які є важливим компонентом дихання та харчування мікроорганізмів, що здійснюють процес аеробного зброджування. При закладанні матеріалів на компостування потрібно витримувати певне співвідношення між азотом та вуглецем. Для підтримання заданого балансу в багаті азотом матеріали додають вуглецеві матеріали, зокрема до гною додають відповідну норму підстилки. Для того, щоб процес компостування йшов у потрібному напрямку, компостна суміш повинна мати вуглець і азот у співвідношенні  $C:N = 20-30:1$  ( $C$  – кількість вуглецю,  $N$  – кількість азоту) [2].

В якісному компості так само, як і в родючому ґрунті, співвідношення  $C:N$  має бути 11:1 [1]. Для живлення рослин і ґрунтових грибів найкраще співвідношення  $C:N$  25:1. У рослинних залишках воно становить 30–70:1, що свідчить про великий надлишок вуглецю і брак азоту [3].

При значному надлишку азоту він буде виділятися в атмосферу у вигляді аміаку, що свідчить про непродуктивні втрати цінного компонента для живлення рослин [6].

При використанні гною для виробництва біогазу виділяють дві технології: рідкофазну і твердофазну. При твердофазній технології виникають труднощі, пов'язані із забезпеченням оптимальних умов протікання мікробіологічних процесів ферментації біомаси. У першу чергу це стосується завантаження та гомогенізації зароджуваної біомаси. Застосування рідкофазної ферментації є більш поширеним у практиці використання біогазових установок. При цьому, забезпечують безперервне введення невеликими порціями вхідної біомаси в метантенк, який являє собою місткість-змішувач, де підтримується задана вологість і температура без доступу повітря [7].

Система видалення гною з приміщень для тварин і добовий обсяг гною істотно відображаються на обсягах гноєсховищ, а отже, на капітальних витратах, необхідних для їх спорудження. Крім того, при нагромадженні сировини необхідно враховувати те, що з часом гній втрачає азот та загальний вміст органічної речовини, це багато в чому визначає ефективність наступного етапу його використання для виробництва компосту та отримання біогазу [7].

Слід зазначити, що метанове зброджування не забезпечує знезараження гною, який піддається ферментації в біогазових установках, крім того в випадку відкритого зберігання відходів зброджування виділятиметься метан. Згідно з законом про відновлювальні джерела енергії в редакції від 2009 року підвищена увага приділяється закритим сховищам для зберігання біомаси після зброджування. Розміри сховищ для зберігання відходів, як правило, споруджують об'ємом не менше ніж на 180 днів експлуатації реактора [4].

Незважаючи на значну кількість проведених досліджень, питання управління процесом використання гною свиноферм, з плануванням його подальшого розподілу та урахуванням доз підстилки потребує проведення подальших досліджень.

**Мета досліджень** – встановлення закономірності виходу гноївки при утриманні свиней залежно від дози підстилки.

**Матеріали та методика досліджень.** Розрахунки виходу гноївки залежно від вологості підстилкового гною при максимальній водоутримуючій здатності та дози підстилки наведено з використанням закону балансу мас.

**Результати дослідження.** Загальновідомо, що добова кількість гною на свинарських підприємствах, добова кількість підстилки та загальна добова кількість суміші гною свиней та підстилки залежить від кількості тварин та кількості і виду використовуваної підстилки і визначається наступним чином:

$$Q_G = n_{CB} q_G, \quad (1)$$

де  $Q_G$  – добова кількість гною свиней, кг/добу;  $n_{CB}$  – кількість свиноматок, гол.;  $q_G$  – добовий вихід гною на свинарських підприємствах при використанні повноцінних концентрованих кормів, відповідно до ВНГК-АПК-09.06 (табл. 1) [5], перерахований на одну свиноматку (табл. 2), кг/гол. за добу.

$$Q_P = n_{CB} q_P, \quad (2)$$

де  $Q_P$  – добова потреба у підстилці, кг/добу;  $q_P$  – добова потреба у підстилці перерахована на одну свиноматку, кг/гол. за добу.

$$Q_C = n_{CB} (q_G + q_P), \quad (3)$$

де  $Q_C$  – загальна добова кількість суміші гною свиней та підстилки, кг/добу.

### 1. Добові норми виходу та вологості екскрементів

Група тварин	Вихід екскрементів та їх склад
--------------	--------------------------------

	Всього		у тому числі			
	Маса, кг	Вологість, %	кал		сеча	
			Маса, кг	Вологість, %	Маса, кг	Вологість, %
Кнури	11,04	89,43	3,80	75,0	7,24	97,0
Свиноматки:						
холості	8,80	90,87	2,46	73,8	6,34	97,5
супоросні	10,00	91,01	2,60	73,1	7,40	97,3
підсисні	15,30	90,14	4,30	73,1	11,00	96,8
Поросята віком, днів:						
26–42	0,40	90,03	0,10	70,0	0,30	96,7
43–60	0,70	85,29	0,30	71,0	0,40	96,0
60–106	1,80	86,62	0,70	71,4	1,10	96,3
Свині на відгодівлі масою, кг:						
до 70	5,00	86,98	2,05	73,0	2,95	96,7
більше 70	6,50	87,68	2,70	74,7	3,80	96,9

## 2. Добовий вихід гною на свиновідгодівельній фермі із розрахунку на одну свиноматку

Група тварин	Вихід екскрементів та їх склад			
	Кал		Сеча	
	Маса, кг	Вологість, %	Маса, кг	Вологість, %
Основна свиноматка	2,9	73,2	7,8	97,2
Ремонтні свиноматки	1,0	73,8	2,5	97,5
Кнури та ремонтні хряки	0,1	75,0	0,3	97,0
Поросята	1,7	71,3	2,7	96,3
Свині на відгодівлі	12,2	74,0	17,3	96,8
Загальний вихід і вологість гною із розрахунку на одну свиноматку	<b>48,5</b>	<b>кг</b>	<b>88,3</b>	<b>%</b>

Відомо, також, що кількість води, яка перевищує максимальну водоутримуючу здатність підстилкового гною, обумовлену наявністю підстилки, становить:

$$Q_G^B = Q_C \frac{W_C - W_{ПН}}{100 - W_{ПН}}, \quad (4)$$

де  $Q_G^B$  – добова кількість води, яка не утримується підстилковим гноєм і надходить до гноївки, кг/добу;  $W_C$  – вологість суміші гною свиней та підстилки, %;  $W_{ПН}$  – вологість підстилкового гною при максимальній кількості утримуваної води (вологість при максимальній водоутримуючій здатності), %.

Вологість підстилкового гною при максимальній водоутримуючій здатності (МВЗ) обумовлюється видом підстилки, але для рослинних матеріалів вона знаходиться, як правило, в межах від 76 до 84 % [2].

Очевидно, що вологість суміші гною свиней та підстилки визначається так:

$$W_C = \frac{q_{\Gamma} W_{\Gamma} + q_{\Pi} W_{\Pi}}{q_{\Gamma} + q_{\Pi}}, \quad (5)$$

де  $W_C$  – вологість суміші гною свиней та підстилки, %;  $W_{\Gamma}$  – вологість гною свиней, %;  $W_{\Pi}$  – вологість підстилки, %.

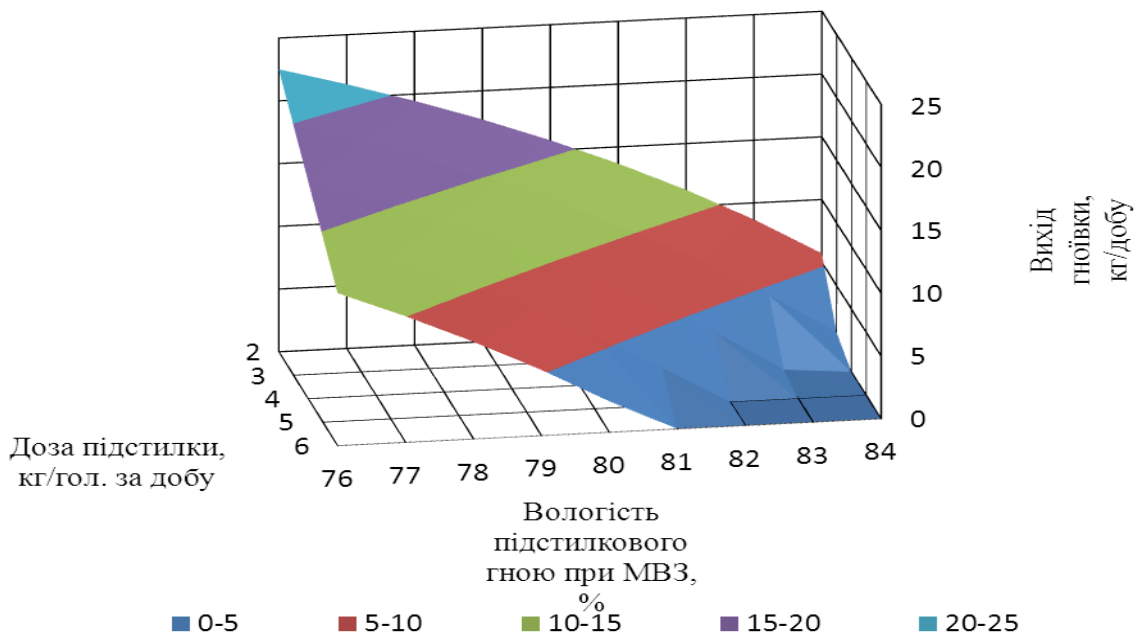
Враховуючи, що добова кількість гноївки:

$$Q_{\Gamma H} = \frac{Q_{\Gamma}^B}{W_{\Gamma H}}, \quad (6)$$

де  $Q_{\Gamma H}$  – добова кількість гноївки, кг/добу;  $W_{\Gamma H}$  – вологість гноївки, відн. од., та підставивши значення кількості води, яка перевищує максимальну водоутримуючу здатність підстилкового гною, обумовлену наявністю підстилки, одержимо:

$$\begin{aligned} Q_{\Gamma H} &= \frac{Q_C}{W_{\Gamma H}} \cdot \frac{W_C - W_{\Pi H}}{100 - W_{\Pi H}} = \frac{n_{CB}(q_{\Gamma} + q_{\Pi})}{W_{\Gamma H}} \cdot \frac{W_C - W_{\Pi H}}{100 - W_{\Pi H}} = \\ &= \frac{n_{CB}(q_{\Gamma} + q_{\Pi})}{W_{\Gamma H}} \cdot \frac{\frac{q_{\Gamma} W_{\Gamma} + q_{\Pi} W_{\Pi}}{q_{\Gamma} + q_{\Pi}} - W_{\Pi H}}{100 - W_{\Pi H}} = \\ &= \frac{n_{CB}}{W_{\Gamma H}} \cdot \frac{q_{\Gamma} W_{\Gamma} + q_{\Pi} W_{\Pi} - (q_{\Gamma} + q_{\Pi}) W_{\Pi H}}{100 - W_{\Pi H}}. \end{aligned} \quad (7)$$

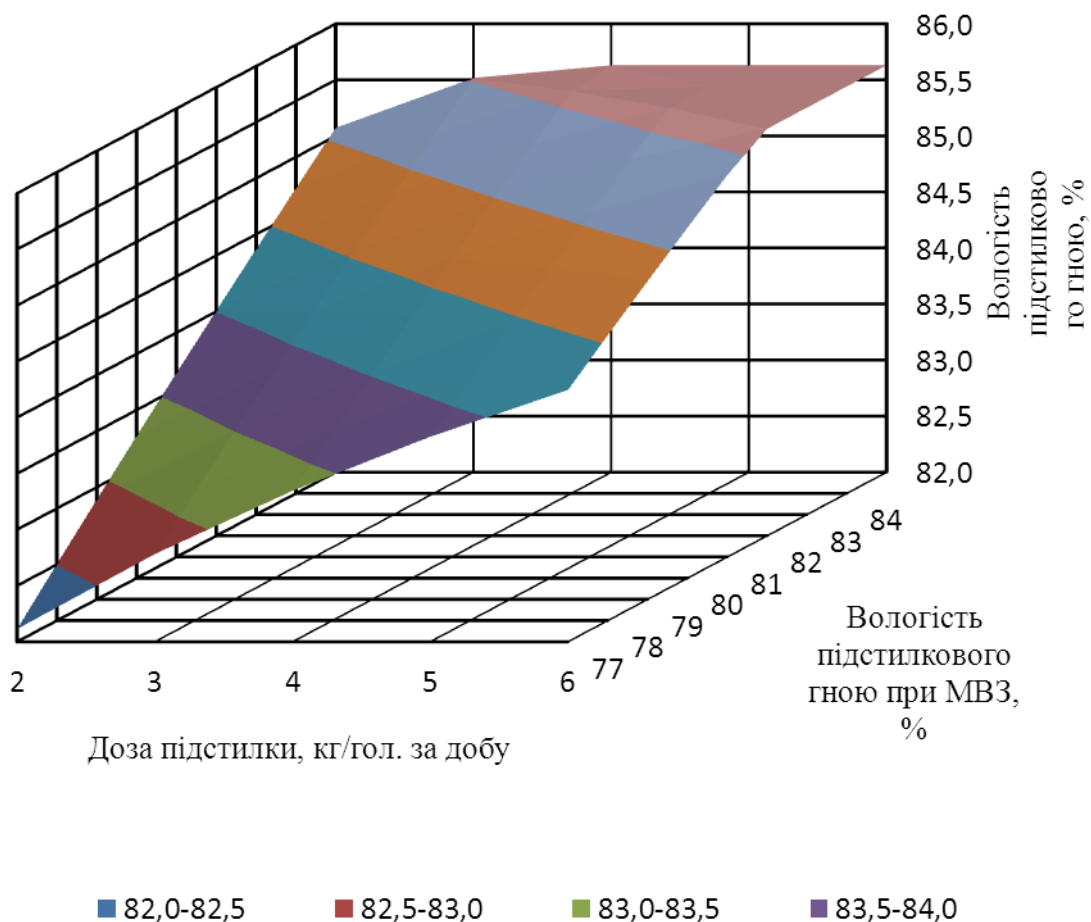
На основі отриманого рівняння було побудовано залежність виходу гноївки від вологості підстилкового гною при МВЗ та дози підстилки (рис. 1).



**Рис. 1. Залежність виходу гноївки від вологості підстилкового гною при МВЗ та дози підстилки**

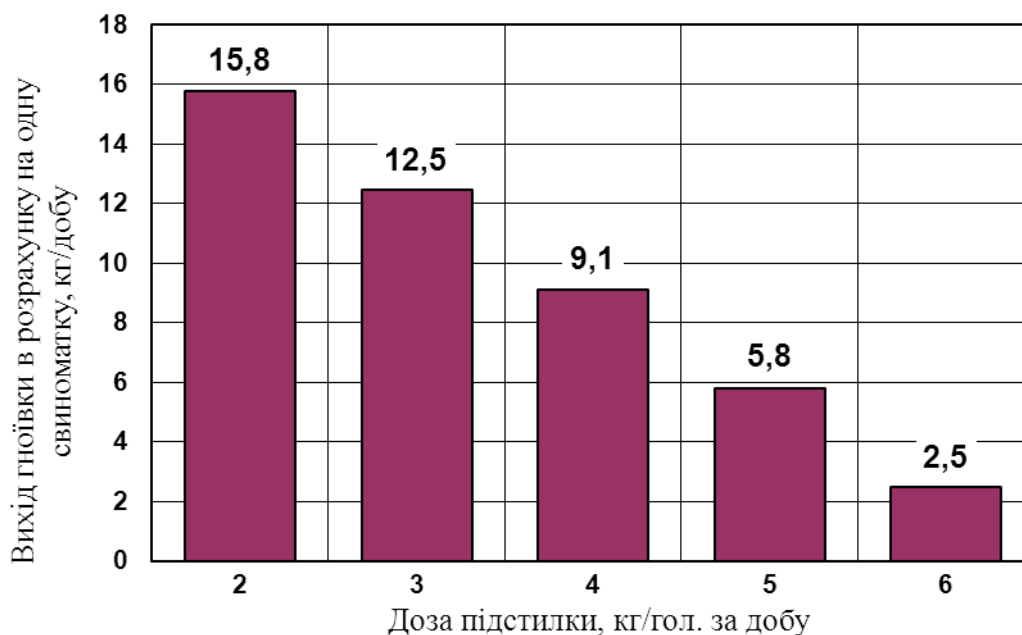
Аналіз взаємного впливу вологості підстилкового гною при МВЗ та дози підстилки показав, що максимальний вихід гноївки спостерігається при зменшенні внесення підстилки та зменшенні вологості підстилкового гною при МВЗ. Натомість при збільшенні внесення підстилки від 4 до 6 кг/гол. за добу будемо мати відсутність виходу гноївки в межах зміни вологості підстилкового гною при МВЗ від 82 до 84 % відповідно.

Встановлено, що зі збільшенням внесення підстилки та вологості підстилкового гною при МВЗ від 77 до 82 % вологість підстилкового гною збільшується на величину від 1 до 1,5 % (рис. 2). Зі збільшенням вологості підстилкового гною при МВЗ більше 82 % внесення підстилки понад 3 кг/гол за добу не має суттєвого впливу на вологість підстилкового гною. Це пов'язано з тим, що вологість підстилкового гною досягає своєї критичної межі і подальше поглинання рідкої фракції припиняється.



**Рис. 2. Залежність вологості підстилкового гною від вологості підстилкового гною при МВЗ та дози підстилки**

Із збільшенням дози внесення підстилки спостерігається зменшення виходу гноївки при незмінному значенні вологості на рівні 80 %, яка відповідає МВЗ підстилкового гною (рис. 3).



**Рис. 3. Залежність виходу гноївки від дози підстилки при вологості підстилкового гною на рівні 80 %, яка відповідає МВЗ**

Із графіка видно, що при постійному значенні величини вологості підстилкового гною, яка відповідає МВЗ та добовому використанні підстилки в кількості 2 кг/гол., вихід гноївки становитиме 15,8 кг/гол. за добу, а при збільшенні її дози до 6 кг/гол. – 2,5 кг.

### Висновки

Встановлені закономірності виходу гноївки залежно від дози підстилки дозволяють здійснювати контрольоване використання гною свиноферм з плануванням його подальшого розподілу на аеробну ферментацію підстилкового гною та аеробне зброджування гноївки в біогазових установках з подальшим поверненням гноївки на компостування.

### Список літератури

1. Агрохимия в вопросах и ответах / [А.А. Каликин, И.Р. Вильдфлуш, В.А. Ионас и др.]. – Мн.: Ураджай, 1991. – 240 с.
2. Васильев В.А. Справочник по органическим удобрениям/ В.А. Васильев, Н.В. Филиппова. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 255 с.
3. Голуб Г.А. Агропромислове виробництво їстівних грибів. Механіко–технологічні основи / Г.А. Голуб. – К.: Аграрна наука, 2007. – 332 с.
4. Руководство по биогазу от получения до использования/: Идентификационный номер проекта (FKZ/ИНП): 22005108/ Немецкий центр исследования биомассы Torgauer Straße 116- 04347 Leipzig. – [5-е полностью перераб. изд.]. – Гюльцов: издано агентством по возобновляемым ресурсам (FNR) Fechagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. 2010. – 214 с.

5. Системи видалення, обробки, підготовки та використання гною: ВНТП–АПК 09.06. Офіц. видання / – К.: Міністерство аграрної політики України 2006. – 100 с.

6. Справочная книга по химизации сельского хозяйства / [под ред. В.М. Борисова]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1980. – 560 с.

7. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами / [Голуб Г.А., Сидорчук О.В., Кухарець С.М. та ін.]; за ред. д-ра техн. наук, проф. Г.А. Голуба. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2014. – 106 с.

*Рассмотрено контролируемое использование навоза свиноферм с планированием его дальнейшего распределения. Установлены закономерности для определения выхода навоза в зависимости от дозы подстилки.*

***Навозная жижа, свиньи, навоз, влажность, подстилка.***

*The pig manure controlled use with planning its further distribution is considered. The yield aqua manure regularities in depending of a dose-dependent litter are determined.*

***Aqua manure, pig, manure, humidity, litter.***

УДК 621.82

## **ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРИВОДНИХ ПАСІВ МАШИН**

***І.В. Логуш, О.В. Фльонц, І.І. Чвартацький, кандидати технічних наук  
А.В. Грабар, старший викладач  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

*Наведено конструкції технологічного оснащення для виготовлення приводних пасів машин і плоских пасів конвейєрів, формування бокових профілів нарізних пасів і установку для вулканізації на основі техніко-економічного обґрунтування. Виведено аналітичні залежності для визначення сили різання при формуванні деталей, виготовлених з еластомерів, і сили подачі конвейєрної стрічки в зону різання.*

***Приводні паси, технологічне оснащення, конвейєрна стрічка.***

Створення нових типів машин і механізмів транспортно-технологічних систем і їх приводів сприяє подальшому розвитку народно-

5. Системи видалення, обробки, підготовки та використання гною: ВНТП–АПК 09.06. Офіц. видання / – К.: Міністерство аграрної політики України 2006. – 100 с.

6. Справочная книга по химизации сельского хозяйства / [под ред. В.М. Борисова]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1980. – 560 с.

7. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами / [Голуб Г.А., Сидорчук О.В., Кухарець С.М. та ін.]; за ред. д-ра техн. наук, проф. Г.А. Голуба. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2014. – 106 с.

*Рассмотрено контролируемое использование навоза свиноферм с планированием его дальнейшего распределения. Установлены закономерности для определения выхода навоза в зависимости от дозы подстилки.*

***Навозная жижа, свиньи, навоз, влажность, подстилка.***

*The pig manure controlled use with planning its further distribution is considered. The yield aqua manure regularities in depending of a dose-dependent litter are determined.*

***Aqua manure, pig, manure, humidity, litter.***

УДК 621.82

## **ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРИВІДНИХ ПАСІВ МАШИН**

***І.В. Логуш, О.В. Фльонц, І.І. Чвартацький, кандидати технічних наук  
А.В. Грабар, старший викладач  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

*Наведено конструкції технологічного оснащення для виготовлення приводних пасів машин і плоских пасів конвейєрів, формування бокових профілів нарізних пасів і установку для вулканізації на основі техніко-економічного обґрунтування. Виведено аналітичні залежності для визначення сили різання при формуванні деталей, виготовлених з еластомерів, і сили подачі конвейєрної стрічки в зону різання.*

***Привідні паси, технологічне оснащення, конвейєрна стрічка.***

Створення нових типів машин і механізмів транспортно-технологічних систем і їх приводів сприяє подальшому розвитку народно-

го господарства та розширенню їх номенклатури, підвищенню продуктивності праці за рахунок науково-технічного прогресу.

Широкого застосування в приводах машин замість ланцюгових передач набули гладкі конвейєрні стрічки (КС) або з відкритими трапецієподібними виступами для зачеплення з відповідними шліцьовими виступами на приводних валах, що забезпечує передачу обертового руху без пробуксовування та перекосів.

Крім цього, приводні гладкі паси широко використовуються для завантаження машин і механізмів зерном та іншими сипкими матеріалами, наприклад трилери для завантаження зерна продуктивністю до 100 т/год. Приводні паси виготовляють із тканинним та металічними кордами, пластмасові, шкіряні та ін.

Тому тема є актуальною і має важливе народногосподарське значення.

**Мета досліджень** – теоретичне обґрунтування розроблення технологічного оснащення для з'єднання кінців пасів замкнутого контуру вулканізаційним способом і формування їх бокових профілів з використанням струмів високої частоти.

Роботу виконано згідно з Постановою Кабінету Міністрів України “Про розвиток сільськогосподарського машинобудування і забезпечення агропромислового комплексу конкурентноздатною технікою на 2010...2015 рр”.

**Матеріали та методика досліджень.** Основним параметром, який визначає конструктивні особливості обладнання для розрізання конвейєрних стрічок, є технологічне зусилля різання  $P$ , яке визначено за залежністю:

$$P = F (\delta_1 T_{зр1} + \delta_2 T_{зр2}), \quad (1)$$

де  $F$  – площа зрізу конвейєрної стрічки, мм<sup>2</sup>;  $\delta_1$  – коефіцієнт, що визначає долю тканинного корду в конвейєрній стрічці;  $T_{зр1}$  – опір різанню тканини конвейєрної стрічки, МПа;  $\delta_2$  – коефіцієнт, що визначає долю тканини у площі зрізу конвейєрної стрічки;  $T_{зр2}$  – опір різанню гуми, МПа.

Технологічна сила різання

$$P = \frac{1}{4} \left( \frac{S^2}{tg\varphi} + D^2 \left( \frac{\pi\varphi_3}{180} - \sin\varphi_3 \right) \right) \left( \left( \sum_{i=1}^n S_1 \right) \tau_{зр1} + \delta_2 \tau_{зр2} \right), \quad (2)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $D$  – діаметр бухти, м;  $S$  – товщина конвейєрної стрічки, мм;  $\varphi$ ,  $\varphi_3$  – відповідно кути захоплення і різання стружки, град.

Потужність різання визначено за залежністю

$$N = \frac{k_1 k_2 P V \sin\varphi}{61150,8}. \quad (3)$$

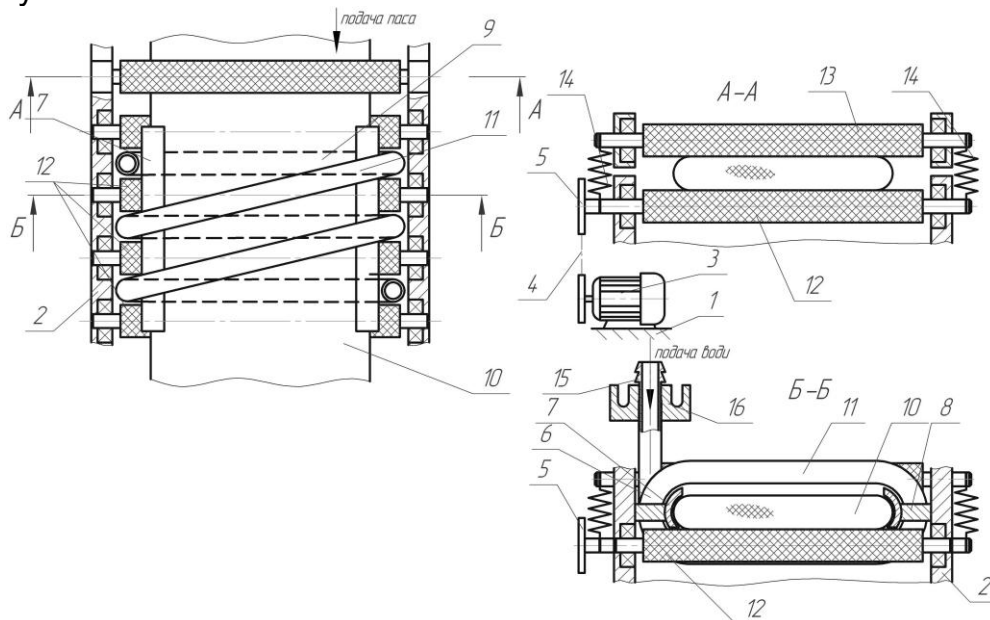
де  $V$  – швидкість різання, м/хв;  $k_1$  – коефіцієнт, який враховує умови затуплення дискових ножів;  $k_2$  – коефіцієнт, який враховує технічний стан технологічного обладнання.

Визначено зусилля притискування подаючого ролика до конвеєрної стрічки під час процесу різання:

$$P_n = \frac{nP\mu_{np1} + P_{розм}}{(\mu_1 - \mu_{np2})} = \frac{nP\mu_{np1} + m\mu_4 d_4 \frac{g}{D_4}}{(\mu_1 - \mu_{np2})}, \quad (4)$$

де  $m$  – маса бухти, кг;  $\mu_4$  – коефіцієнт тертя між валом бухти і стояком;  $d_4$  – діаметр вала бухти, мм;

**Результати досліджень.** Розроблено технологічне оснащення для виготовлення приводних пасів. На рис. 1. зображена установка для формування бокових профілів нарізних плоских пасів. Її виконано у вигляді рами 1, на якій жорстко встановлено горизонтальний рольганг 2, приводний електродвигун 3 з ланцюговою передачею 4 і приводними зірочками 5. До рами жорстко закріплено індуктор 6, який виконано у вигляді гвинтового еліпсного соленоїда з трубок круглого або прямокутного поперечного перерізу.



**Рис. 1. Установка для формування бокових профілів нарізних плоских пасів**

Всередині індуктора 6, біля його країв, розміщено формувальні направляючі 7, форма яких відповідає формі бокових частин пасів, які жорстко закріплені до рами 1 за допомогою пластин 8. Витки 9 індуктора 6 знизу виконані паралельними між собою і є перпендикулярними до напрямку руху паса 10, а зверху витки 11 індуктора виконані під кутом для їх послідовного з'єднання.

Рольганг 2 застосовується для подачі нарізних плоских пасів 10 у зону формування бокових країв. На вході установки внизу, аналогічно до рольгангів і на їх висоті встановлено приводні ролики 12, а зверху над ним і пасом встановлено притискні ролики 13 з можливістю кругового повертання.

Притискні ролики притискаються до верхньої площини паса 10 з двох кінців пружинами 14 з можливістю кругового і вертикального переміщення.

Індуктор 6 штуцерами 15 під'єднаний до системи охолодження, а клемми 16 – до установки струмів високої частоти (на кресленні не показано).

Робота установки для формування бокових профілів нарізних плоских пасів здійснюється так. Плоский нарізний пас 10 встановлюють на рольганги 2, а передній його кінець вводять між притискними 13 і приводними 12 роликами. Індуктор 6 штуцерами 15 під'єднують до системи охолодження, а клеми 16 – до установки струмів високої частоти (на кресленні не показано). Після підготовчих операцій вмикають подачу води, електричний струм, осьову подачу паса 10 між витками індуктора.

По довжині подачі нарізного паса 10 з двох боків встановлені формувальні елементи 7, які нагріваються струмами високої частоти від індуктора. Нагріті формувальні елементи здійснюють формування бокових профілів нарізних плоских пасів згідно з необхідним профілем. Після проходження першого паса здійснюють подачу наступного, а готові паси вкладають у тару (на кресленні не показано).

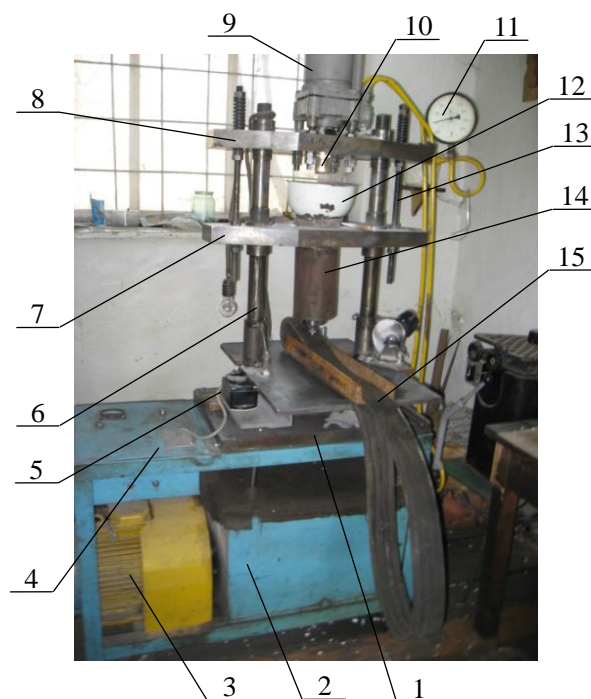
До переваг індуктора належить підвищення продуктивності праці і якості виконання операцій формування країв гумово-бавовняних стрічок.

Установка для вулканізації з'єднувальних кінців плоских нарізних приводних пасів або конвейєрних стрічок зображена на рис. 2. Вона виконана у вигляді рами 1, нижньої плити 5, до якої жорстко закріплено на різі матрицю 14 з можливістю осьового і кругового повертання відомими способами. До плити жорстко закріплено дві вертикальні направляючі 6, які встановлені по краях плити, паралельні між собою, з направляючими втулками і можливістю осьового переміщення. Останні жорстко закріплені до середньої плити 7, яка паралельна до нижньої плити, з можливістю осьового переміщення. Для обмеження величини переміщення середньої плити використовують два вертикальні, паралельні між собою обмежувачі 13, які встановлені по краях середньої плити з регульовальними гайками. Верхніми кінцями обмежувачі жорстко закріплені до верхньої плити 8 разом із вертикальними направляючими 6, які є паралельними до середньої і нижньої плит.

Посередині середньої плити 7 жорстко вертикально встановлено циліндричний кожух, який зверху виконано у вигляді конусної ємності 12, який взаємодіє з розсипною сумішшю для періодичної її подачі в зону нагріву (на кресленні не показано).

У внутрішній діаметр циліндричного кожуха 14 встановлено відкритий азбестоізоляційний циліндр, який по внутрішньому діаметру взаємодіє з нагрівальним елементом (соленоїдом), подаюча вітка якого виконана у вигляді трубчастого гвинтового соленоїда з прямокутним або круглим поперечним січенням, а відвідна вітка соленоїда виконана у вигляді прямої трубки, вісь якої паралельна до осі соленоїда. Крім цього, підвідну і відвідну системи охолодження під'єднано до системи охолодження (на

кресленні не показано). До кінців соленоїда також під'єднані щоби відомої конструкції, які, в свою чергу, під'єднані до установки струму високої частоти конструкції. По внутрішньому діаметру соленоїд через зазор взаємодіє з матрицею циліндричної форми з торцевим дном і отвором для виходу розплавленої маси з матриці. Отвір, який закривається відповідним механізмом у певний період відомої конструкції, на кресленні не показано. Матриця жорстко кріпиться до торцевого дна циліндричного кожуха 14. В нижньому торці зовнішнього циліндричного кожуха виконані направляючі обмежувачі ширини паса з можливістю їх регулювання, які взаємодіють з кінцями паса 15 для їх з'єднання з матрицею.



**Рис. 2. Установка для вулканізації кінців нарізних плоских пасів і конвейєрних стрічок**

Зверху над циліндричним кожухом 9 жорстко встановлено пуансон 10 циліндричної форми, який зверху закріплений до гідроциліндра 9 і встановлений в отвір верхньої плити 8 з можливістю періодичного осьового переміщення. Гідроциліндр жорстко закріплено зверху по центру верхньої плити, він приводиться в рух від електропривода гідростанції 2 з відповідного пульта керування 5, що встановлено на нижній плиті 1.

Робота установки для вулканізації з'єднувальних кінців нарізних плоских приводних пасів відбувається так. Формувальна суміш у вигляді гранул засипається в конусну ємність 12. Пуансон 10 піднімають у верхнє крайнє положення. Соленоїд обома кінцями під'єднують до водяної системи охолодження, а з'єднувальні пластини соленоїда – до установи струмів високої частоти (дві останні на кресленні не зображені). З'єднувальні кінці приводного паса 15 встановлюють на матрицю з обмежувачами ширини і товщини паса і підтискують циліндром 14 з його нижнім притисканням.

Після завершення підготовчих операцій необхідна порція розпавленої формувальної суміші подається в матрицю відомим способом, з пульта керування 5 вмикають соленоїд, формувальна суміш нагрівається до температури плавлення, після чого вона надходить у зону з'єднання кінців паса 15 і формує з'єднувальний стик. Після цього стик певний час остигає, нагрівальні елементи вимикають до наступної операції плавлення формувальної суміші.

До переваг установки належить розширення технологічних можливостей і підвищення якості вулканізаційних операцій.

### **Висновки**

Виведено аналітичні залежності для визначення сил різання конвейерної стрічки і сили її подачі у зону різання при формуванні приводних пасів і конвейерних стрічок стрічкових конвейерів. Розроблено конструкції технологічного оснащення для виготовлення приводних пасів машин, формування бокових профілів і установку для вулканізації їх кінців.

### **Список літератури**

1. Лепетов В.А. Расчет и конструирование резиновых изделий / В.А. Лепетов, Л.Н. Юрцев. – Л.: Химия, 1987. –408 с.
2. Мак-Келви Д.М. Переработка полимеров / Д.М. Мак-Келви; пер. с англ. – М.: Химия, 1965. – 440 с.
3. Пат. 28728 Україна, МПК (2011.01): В23Q 37/00 Лінія для порізки конвейерної стрічки / Матвійчук А.В., Брощак І.І., Фльонц О.В., Гевко Ів.Б.; заявник і патентовласник Матвійчук А.В., Брощак І.І., Фльонц О.В., Гевко Ів.Б. – № u200707019; заявл. 22.06.07; опубл. 25.12.07, Бюл. № 21.
4. Пат. 45146 Україна, МПК (2011.01) В23Q 37/00. Спосіб нарізання конвейерної стрічки на смуги / Брощак І. І., Гевко І. Б., Ляшук О.Л., Фльонц О.В., Дзюра В.О.; заявник і патентовласник Тернопільський держ. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. – № u200905466; заявл. 29.05.09; опубл. 26.10.09, Бюл. № 20.
5. Федюкин Д.Л. Применение резиново-технических изделий в народном хозяйстве / Д.Л. Федюкин. – М.: Химия, 1986. –240 с.

*Приведены конструкции технологической оснастки для изготовления приводных ремней машин и плоских ремней конвейеров, формирования боковых профилей нарезных ремней и установку для вулканизации, исходя из технико-экономического обоснования. Выведены аналитические зависимости для определения силы резанья при формировании деталей, изготовленных из эластомеров, и силы подачи конвейерной ленты в зону резанья.*

***Приводные ремни, технологическая оснастка, конвейерная лента.***

*Given design tooling for the manufacture of machines and drive belts flat belts conveyors, forming the side profiles and threaded belt installation for*

*curing the basis of a feasibility study. The analytic relations for determining the cutting force in the formation of parts made of elastomers, and power supply of the conveyor belt to the cutting zone.*

***Drive belts, technological equipment, conveyer belt.***

УДК 631.3.83

## **РОЗВИТОК ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ**

***В.Г. Мироненко, доктор технічних наук***

***Р.В. Мельник, кандидат технічних наук***

***Д.В. Тимощук, науковий співробітник***

***В.М. Слободян, аспірант\****

***ННЦ «Інститут механізації та електрифікації  
сільського господарства»***

*Проаналізовано сучасний стан розвитку мобільних енергетичних засобів механізації. Розкрито перспективи подальшої електрифікації технологічних процесів і переведення мобільної техніки на електричний привод.*

***Мобільна техніка, електротрактор, акумуляторні батареї.***

Кожна окрема країна може розраховувати на своє місце в світовій економіці залежно від рівня інноваційної політики – науково-технічної активності та державної підтримки створення конкурентоспроможного вітчизняного виробника. Активізація світових глобалізаційних процесів збіглася з глибокими соціально-економічними реформами в Україні, що призвело до сировинної переорієнтації нашої економіки та кризової залежності від економік більш успішних країн.

**Мета досліджень** – підвищення ефективності роботи мобільних енергетичних засобів сільськогосподарського призначення за рахунок використання електроенергії.

**Результати досліджень.** Інноваційний розвиток галузі необхідно проводити, базуючись, в першу чергу, на особливостях, що характерні виключно для України [1].

Однією з характерних особливостей виробництва сільськогосподарської продукції в Україні є суттєва залежність від імпортних енергоносіїв: потреба України в енергоресурсах становить 220 млн т. у. п., у тому числі, імпорт – понад 60 %, а власний видобуток нафти – близько 30 % від не-

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.Г. Мироненко.

© В.Г. Мироненко, Р.В. Мельник,  
Д.В. Тимощук, В.М. Слободян, 2014

*curing the basis of a feasibility study. The analytic relations for determining the cutting force in the formation of parts made of elastomers, and power supply of the conveyor belt to the cutting zone.*

***Drive belts, technological equipment, conveyer belt.***

УДК 631.3.83

## **РОЗВИТОК ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ**

***В.Г. Мироненко, доктор технічних наук***

***Р.В. Мельник, кандидат технічних наук***

***Д.В. Тимощук, науковий співробітник***

***В.М. Слободян, аспірант\****

***ННЦ «Інститут механізації та електрифікації  
сільського господарства»***

*Проаналізовано сучасний стан розвитку мобільних енергетичних засобів механізації. Розкрито перспективи подальшої електрифікації технологічних процесів і переведення мобільної техніки на електричний привод.*

***Мобільна техніка, електротрактор, акумуляторні батареї.***

Кожна окрема країна може розраховувати на своє місце в світовій економіці залежно від рівня інноваційної політики – науково-технічної активності та державної підтримки створення конкурентоспроможного вітчизняного виробника. Активізація світових глобалізаційних процесів збіглася з глибокими соціально-економічними реформами в Україні, що призвело до сировинної переорієнтації нашої економіки та кризової залежності від економік більш успішних країн.

**Мета досліджень** – підвищення ефективності роботи мобільних енергетичних засобів сільськогосподарського призначення за рахунок використання електроенергії.

**Результати досліджень.** Інноваційний розвиток галузі необхідно проводити, базуючись, в першу чергу, на особливостях, що характерні виключно для України [1].

Однією з характерних особливостей виробництва сільськогосподарської продукції в Україні є суттєва залежність від імпортних енергоносіїв: потреба України в енергоресурсах становить 220 млн т. у. п., у тому числі, імпорт – понад 60 %, а власний видобуток нафти – близько 30 % від не-

---

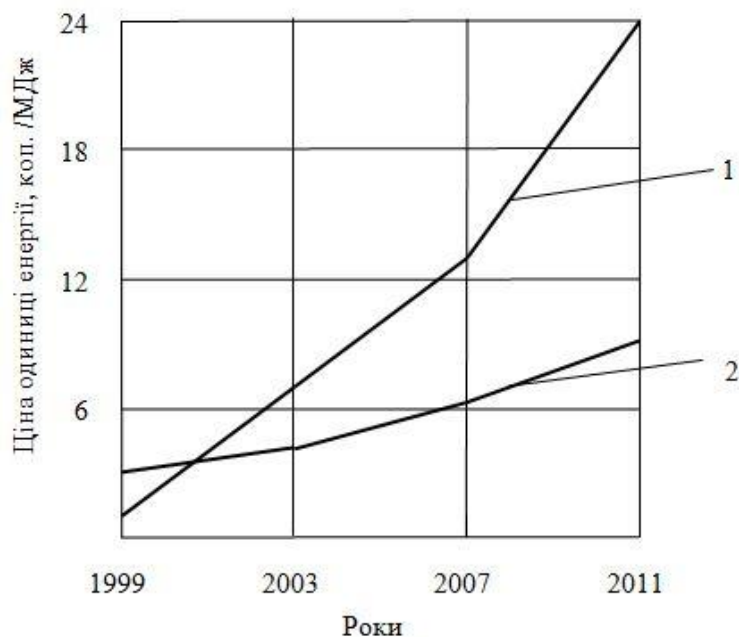
\* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.Г. Мироненко.

© В.Г. Мироненко, Р.В. Мельник,  
Д.В. Тимощук, В.М. Слободян, 2014

обхідного, дизельне паливо лише при виконанні основних технологічних процесів рослинництва складає понад 20 % собівартості рослинної продукції, спочатку продається (і в досить обмежені терміни) продукція рослинництва, а потім купується паливо. Будь-яке підвищення прибутку від реалізації продукції рослинництва легко втрачається при закупівлі палива. Країна, яка продає хліб, завжди в програвшій країні, що продає паливо.

З іншого боку, Україна нині є однією з найбільш розвинутих і перспективних країн світу з питань виробництва електричної енергії: потужна система теплоелектростанцій (14 теплових електростанцій зі встановленою потужністю понад 30 тис. МВт). При цьому запасами вугілля Україна забезпечена на 400 років [2]. За встановленими потужностями ядерної енергетики Україна займає 8 місце в світі та має значні запаси уранової руди, частка електроенергії, отриманої від енергії сонця і вітру, в 2030 рік має бути 15 %, сучасний вітроенергетичний потенціал України становить 30000 ГВт·год на рік [1], перспективним є використання відходів рослинництва для виробництва електроенергії в умовах окремого господарства.

Динаміка зростання цін на одиницю енергії у вигляді електроенергії в Україні менша, ніж у вигляді дизельного палива (рис.1) при тому, що прибуток за рахунок різниці ціни реалізації та собівартості виробництва залишається в країні.

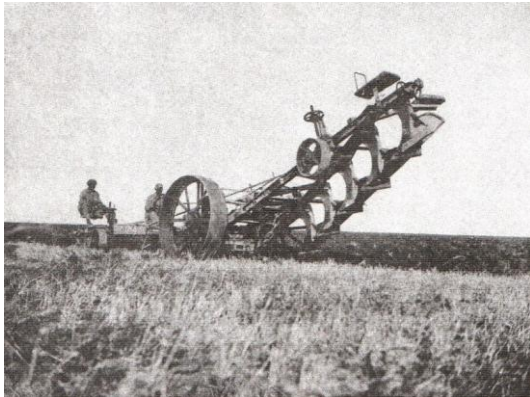


**Рис. 1. Динаміка зміни ціни одиниці енергії:**

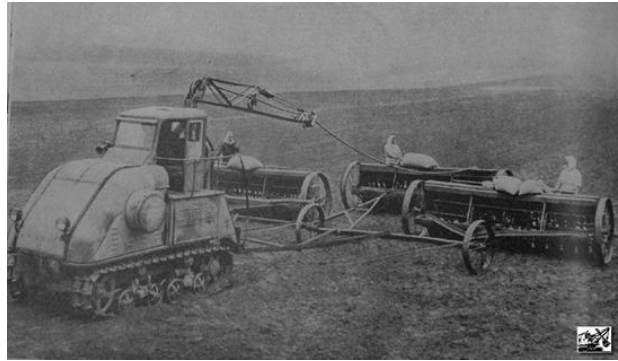
1– дизельне паливо; 2 – електроенергія для сільської місцевості

Таким чином, можна стверджувати про те, що одним із чинників ефективності сільського господарства України в подальшому буде освоєння нового рівня електрифікації виробництва. Важливе значення в цьому процесі займає питання переведення мобільних енергозасобів, зокрема тракторів сільськогосподарського призначення на електричний привод.

Перша електрооранка відбулася 22 жовтня 1921 р. Електроплуг (рис. 2) був створений робітниками Петроградської електростанції [4].



**Рис. 2. Перший електроплуг**



**Рис. 3. Трактор ХТ3-12**

На шасі було встановлено електромотори потужністю 70 к.с. Електромотори обертали укріплені на шасі барабани, а на кожен барабан намотувався сталевий трос. Вся ця конструкція отримала назву електролебідки. Дві електролебідки були встановлені в полі на відстані 450–500 м одна від одної. За допомогою сталевих тросів вони пересували по полю перекидний 16-корпусний плуг. Коли перекидний плуг знаходився біля правої електролебідки, починала працювати ліва електролебідка. Барабан обертався, сталевий трос намотувався і тягнув перекидний плуг. Плуг робив 8 борозен загальною шириною більше 2 м, а 8 інших корпусів плуга знаходилися в цей час у піднятому стані. Дійшовши до лівої електролебідки, плуг перекидався і рухався назад до правої лебідки, залишаючи за собою також 8 борозен.

Водночас у минулому столітті в СРСР інтенсивно велися розробки сільськогосподарських електротракторів, причому до роботи були залучені низка провідних науково-дослідних закладів. Серед них і Всесоюзний інститут електрифікації сільського господарства, Харківський тракторний завод та багато інших. У Харкові виготовили невелику серію ХТ3-12, що випробовувалися в їхньому дослідному господарстві (рис. 3) [5].

Основним недоліком цих тракторів була обмеженість у відстані робочого руху, що визначалася довжиною кабелю – до 850 м. Відсутність потужних акумуляторних батарей або з'єднання з контактною мережею загальмувало розвиток проекту.

1 травня 1957 року Челябінським тракторним заводом було освоєно випуск тракторів ДЭТ-250 з електричною трансмісією (рис 4) [5].

Трактор потужністю двигуна 330 к.с. зарекомендував себе надійною машиною, особливо в північних регіонах країни, де застосовувався на великих будівництвах і в гірничо-видобувній галузі. Ці моделі рушіїв і тепер використовуються в МНС та ремонтних потягах на залізниці. Двигун В-31М2 (модифікація відомого харківського танкового двигуна В-2) витрачав 165 г пального на 1 к.с. на годину і в бульдозерному режимі був одним із кращих за економічними показниками.

На виставці «Агро-2013» ННЦ (ІМЕСГ) представив трактор із силовим електроприводом на базі ХТЗ-2511-04. (рис. 5)



Рис 4. Трактор ДЭТ-250



Рис. 5. Електротрактор-ХТЗ-2511Е

Трактор працює від акумуляторних батарей і за тяговими характеристиками не поступається базовій моделі з дизельним двигуном.

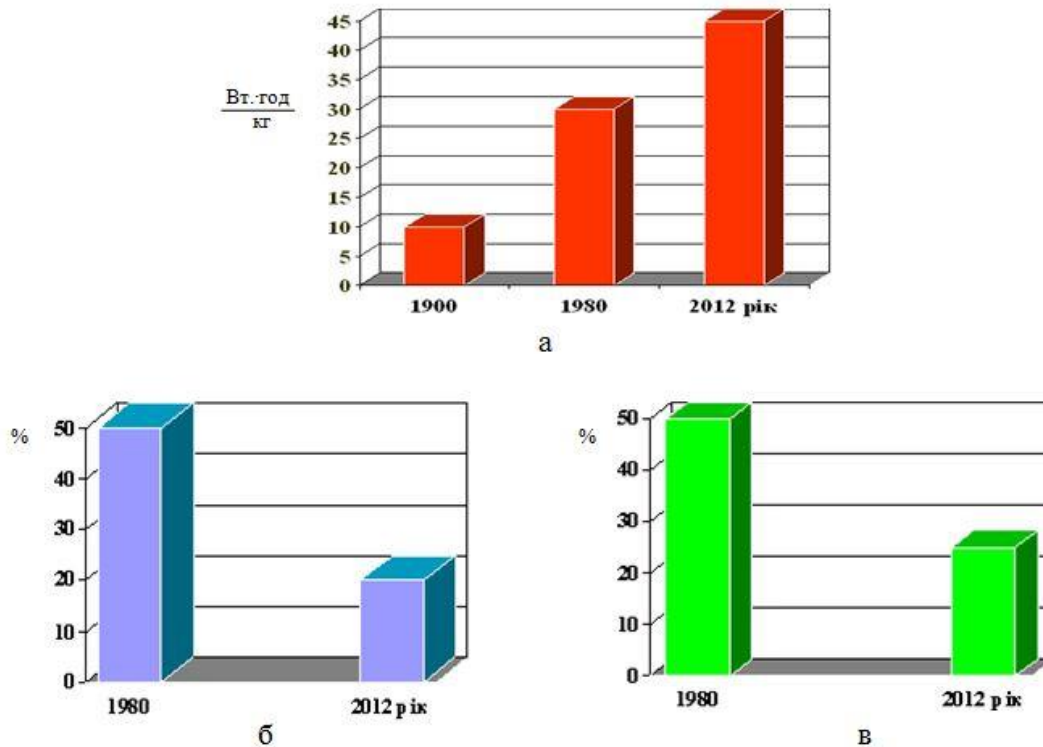
Загальноновизнаними перепонами масового впровадження машин на електроаккумуляторному приводі вважається відсутність потрібних акумуляторів і систем їх зарядки.

У багатьох країнах світу інтенсивно ведеться розроблення і впровадження нових видів високоенергетичних акумуляторів: літій-іонних (за надто дорогі); натрій-сірчаних (робоча температура більше 300 °С); нікель-металгідридних; на основі поліпропілену, паливних елементів, іоністорів, фотоелементів тощо. Проте найбільш доступними, надійними та поширеними поки що залишаються свинцево-кислотні акумуляторні батареї (АКБ). За останній час їхні характеристики, як джерела енергії для електротрактора, значно покращилися (рис.6) – питома енергоємність досягла 45 Вт·год/кг. А при забезпеченні двогодинної безперервної роботи машинно-тракторного агрегату з 80 %-ним навантаженням співвідношення ваги акумуляторів і електротрактора, на який вони встановлюються, складає від 20 %, а співвідношення ціни відповідних акумуляторів і трактора становить близько 25 %.

Порівняльні характеристики свинцево-кислотних і Lithium акумуляторних батарей показують, що нині використання свинцево-кислотних дешевше, але загальна маса їх досить велика за Lithium. Під час виконання технологічних операцій при однаковій масі ємність акумуляторних батарей Lithium буде в три рази більше (див. рис. 6).

Стосовно перезарядки акумуляторів, то для електротракторів це питання вирішується дещо простіше, ніж для автомобілів, що пов'язано з обмеженістю території, на якій працює трактор, чітко визначеним маршрутом і незначними відстанями його переміщення. Шляхом створення відповідної кількості станцій швидкої заміни батарей (3–5 хв) та оптимізації плану виробничих завдань може бути досягнута практично безперервна робота електротрактора протягом всієї робочої зміни. На кожній станції

заміни батарей встановлюється необхідна кількість блоків батарей, заміна яких на тракторі виконується в автоматизованому режимі, а підзарядка проводиться від одного з можливих джерел енергії: централізована електромережа, вітроелектричний пристрій, фотоелектричний модуль, тепловий електрогенератор на біопаливі (солонина, біогаз тощо) та ін.



**Рис. 6. Динаміка зміни основних характеристик електротрактора:**  
 а – питома енергоємність АКБ, Вт·год/кг; б – співвідношення ваги акумуляторів і електротрактора, %; в – співвідношення ціни акумуляторів і електротрактора, %

У попередніх працях закордонних і вітчизняних вчених, у тому числі фахівців Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» [3], досліджено окремі питання організації роботи електротракторів, вибору силового електропривода, розроблення принципів схем керування електроприводом, оцінки економічного, екологічного та соціального ефекту.

Враховуючи потужний потенціал ПАТ «Харківський тракторний завод», а також високий рівень розвитку електроенергетичної галузі, Україна має хороші умови для вирішення в короткі терміни всіх технічних питань та успішного впровадження у виробництво вітчизняних тракторів з електроакумуляторним приводом.

Використання силового електропривода в умовах інтенсивного насичення мобільних сільськогосподарських агрегатів засобами інформатизації та автоматизації відкриває можливість створення техніки нового покоління з високим рівнем електрифікації технологічних процесів та елементами компютерезації, що дозволить значно знизити витрати енергії,

підвищити комфортність і екологічність життя та загальну ефективність використання сільськогосподарських угідь.

### **Висновки**

Ефективність сільського господарства в подальшому буде в значній мірі визначатися освоєнням нового рівня електрифікації виробництва, у тому числі, переведенням мобільних енергозасобів на електричну тягу. Нині Україна має всі необхідні умови для створення та введення в експлуатацію тракторів на електроаккумуляторному приводі.

### **Список літератури**

1. Величко С.А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами): навч.-метод. посіб. для магістрантів / С.А. Величко; наук. ред. проф. І.Г.Черваньов. – Харків: Харків. нац. ун-т ім. В.Н.Каразіна, 2003. – 52 с.
2. Інноваційні пріоритети паливно-енергетичного комплексу України / [під заг. ред. А.К. Шидловського]. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2005. – 521с.
3. Електропривід мобільного агрегату / [Корчемний М.О., Юсупов Н.А., Філоненко А.Ф., Жоров С.В.] // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2003. – № 1. – С. 41–44.
4. Третьак В.М. Енергоефективний трактор / В.М. Третьак. // The Ukrainian Farmer. – К., 2013 – № 2. – С. 94–96.
5. Первая электропахота [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://mgsupgs.livejournal.com/1437990.html>.

*Проанализировано современное состояние развития мобильных энергетических средств механизации. Раскрыты перспективы дальнейшей электрификации технологических процессов и перевод мобильной техники на электрический привод.*

***Мобильная техника, электротрактор, аккумуляторные батареи.***

*The current state of mobile power mechanization. Opened the prospect of further electrification processes and transfer of mobile technology for electric drive.*

***Mobile technology, elektrotraktor, batteries.***

## ОЛІЯ І ГАС ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ПАЛИВО ДЛЯ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

*М.М. Нікітін, І.В. Логуш, І.І. Чвартацький, І.В. Фльонц,  
кандидати технічних наук  
ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”*

*Розглянуто питання можливості використання як альтернативного палива для тракторного дизеля суміші ріпакової олії та авіаційного гасу. Досліджено вплив на властивості такої суміші зміни її складу та температури. Визначено оптимальний склад паливної суміші і вплив цього складу на цетанове число та її теплотворну здатність. Проведено тепловий розрахунок двигуна при роботі на суміші різного складу для визначення можливого впливу на потужність двигуна.*

***Дизельний двигун, дизельне паливо, рослинна олія, гас, цетанове число, теплотворна здатність, зміна потужності двигуна.***

Протягом останніх років у розвинених країнах проводяться дослідження щодо пошуків альтернативних джерел енергії, і зокрема пошуків альтернативних джерел палива ненафтового походження для двигунів внутрішнього згоряння. При цьому мають бути враховані як економічні критерії оцінки такого палива, так і екологічні показники при його використанні. Значного поширення в Європі набув біодизель, який виготовляється на базі рослинної олії шляхом її переробки. Проте при використанні біодизеля виникають додаткові роботи із заміни чи вдосконалення паливної апаратури дизеля, що зменшує його економічну ефективність. При застосуванні як палива необробленої олії необхідно міняти паливну апаратуру та інші елементи паливної системи, що вимагає суттєвих витрат (3,5 – 6,0 тис. євро). Це зумовлено як властивостями самої олії – більша густина та в'язкість, що негативно впливає на роботу елементів паливної системи дизеля, особливо в умовах низьких температур, так і збільшенням цетанового числа рослинної олії порівняно з дизельним паливом, що негативно впливає на процес згоряння в двигуні.

Одним із напрямків зменшення цетанового числа (ЦЧ) рослинної олії є додавання до неї певної частини дизельного палива. Властивості такої суміші, її вплив на роботу дизельного двигуна докладно розглянуто у роботах І.П. Васильєва [1]. Проте така суміш має суттєві недоліки внаслідок негативної дії на паливну апаратуру дизеля парафінів рослинної олії. Для зменшення їх концентрації у паливній суміші можна застосувати розчинник, але вартість таких розчинників набагато більша вартості самої олії, що робить їх застосування неефективним. У роботах І.П. Васильєва

[1] також зазначено, що для майже усіх жирних кислот, що входять до складу рослинних олій, як розчинник може бути використано гас. Гас широко застосовується у сучасній авіації як паливо для реактивних двигунів. Проте застосовувати його у дизельних двигунах недоцільно, оскільки ЦЧ гасу типу ТС-1 становить 37–38, що негативно впливає на пускові якості дизелів і їх потужність.

Оскільки рослинні олії мають ЦЧ=54–58; гас має ЦЧ=37–38, то при їх змішуванні можна отримати паливну суміш з ЦЧ, яке буде знаходитись у бажаному інтервалі – 43–50. Крім того, для такої суміші необхідно врахувати можливу зміну густини і в'язкості залежно від її складу і температури, а також вплив цих параметрів на циклову подачу паливного насоса високого тиску і форсунки.

**Мета досліджень** – виявлення основних фізичних параметрів паливної суміші на основі рослинної олії та гасу з метою заміщення нею дизельного палива на автотракторних двигунах.

**Матеріали та методика досліджень.** Знаючи характер зміни циклової подачі та елементарного складу паливної суміші, можна проаналізувати їх вплив на зміну теплотворної здатності суміші ( $H_u$ ), коефіцієнт надлишку повітря ( $\alpha$ ) та інші показники роботи двигуна. Отримані розрахунково-експериментальні дані по паливу можуть бути перевірені експериментально при стендових випробуваннях двигуна.

Дослідження зміни властивостей паливної суміші з ріпакової олії та гасу проводилося на кафедрі "Енергетичні машини і технічний сервіс" ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» у зимовий період 2013-2014рр., що дало можливість дослідити вплив низьких (до 0 °С) температур на ці властивості (рисунок). Дослідження проводилися для сумішей гас/олія складу 70/30; 60/40; 50/50; 40/60; 30/70. Густина, в'язкість та ЦЧ визначали в лабораторії паливно-мастильних матеріалів кафедри за методикою згідно зі стандартами [1,2] при температурах паливної суміші  $\approx 0; 10; 20; 40$  та  $60$  °С.



**Досліджувані зразки паливної суміші на основі рослинної олії та гасу**

Відомо, що оптимальні умови для дизельного двигуна забезпечуються дизельним паливом з цетановим числом 50. Таке ЦЧ має дизельне паливо (ДП) вищої якості (преміальне). ЦЧ літнього та зимового палива повинно бути не менше 45. Для арктичного ДП допускається ЦЧ менше 45, але ні в якому разі не менше 40. При ЦЧ менше 40 збільшується затримка запалення, що призводить до різкого збільшення швидкості згоряння, жорсткої роботи двигуна і, як наслідок – збільшення зносу двигуна і паливної апаратури. При ЦЧ палива більше за 50–60 погіршується повнота згоряння, димність відпрацьованих газів та підвищується витрата палива.

Для дослідження такого впливу було визначено циклову подачу паливного насоса високого тиску двигуна Д-21Т разом з його форсунками для різного складу паливної суміші. Випробування проводилися у лабораторії паливної апаратури кафедри на стенді типу КИ-22205 за стандартною методикою. У табл. 1 наведено значення циклової подачі різного складу паливної суміші і дизельного пального.

### 1. Циклова подача $q_{ц}$ ( $\text{мм}^3/\text{цикл}$ ) паливного насоса високого тиску двигуна Д-21А для різного типу палива

Показник	Тип палива			
	ДП	Гас/олія		
		70/30	50/50	30/70
Частота обертання, об/хв:				
50	109	120	120	103,3
150	101	98,9	103,3	93,3
400	99	100,6	96,7	90,8
650	94,8	97,3	94,3	86,1
900	75,9	72,6	68,5	67,0
В'язкість $\nu$ , сСт	6,41	5,24	12,15	30,8
Густина $\rho$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	0,841	0,838	0,864	0,890

Зі збільшенням частки олії у суміші її густина та в'язкість зростають при одночасному підвищенні цетанового числа до майже 50, а нижча теплотворна здатність зменшується. Це може вплинути на кількість палива, що надходить у циліндри двигуна за цикл, змінюючи коефіцієнт надлишку повітря та кількість тепла, що виділяється у процесі згоряння.

З метою визначення впливу на показники роботи двигуна зміни в'язкості та густини суміші, а також її теплотворної здатності було проведено тепловий розрахунок двигуна типу Д-21А при роботі на паливних сумішах складу 70/30; 50/50; 30/70; та ДП.

**Результати досліджень.** Проведені розрахунки і лабораторні дослідження щодо раціонального складу паливної суміші на основі рослинної олії та гасу показали, що найближчі показники до показників ДП має суміш гас/олія 60/40. Суміш складу 70/30 навіть дещо краща за ДП, а суміші 50/50 із меншою кількістю гасу мають показники густини і в'язкості гірші за ДП для усього температурного діапазону. Цетанове число суміші змінюється у зворотному напрямку – найменше для суміші 70/30 – 43,1, а найбільше –

для суміші 30/70 – 49,9. З огляду на ці значення досліджування сумішей за межами цього інтервалу – 70/30 ... 30/70 є недоцільним (табл. 2).

## 2. Густина та в'язкість гасу, дизельного палива (ДП) ріпакової олії та їх сумішей

Температура, °С	Показник	Тип палива							
		Гас	ДП	Гас/олія					Олія
				70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	
≈ 0	ν, сСт	2,1	8,33	6,5	10,8	16,2	25,78	40,6	166,9
	ρ, кг/м <sup>3</sup>	0,809	0,845	0,842	0,854	0,866	0,879	0,89	0,926
10	ν, сСт	1,84	6,41	5,24	8,6	12,15	19,3	30,1	102,2
	ρ, кг/м <sup>3</sup>	0,802	0,841	0,838	0,85	0,864	0,875	0,887	0,923
20	ν, сСт	1,43	5,1	4,37	6,41	9,3	14,25	21,0	64,1
	ρ, кг/м <sup>3</sup>	0,794	0,835	0,831	0,844	0,856	0,868	0,880	0,918
40	ν, сСт	1,3	3,4	2,97	4,37	5,86	8,5	12,1	31,2
	ρ, кг/м <sup>3</sup>	0,78	0,824	0,8175	0,830	0,8425	0,855	0,8675	0,905
60	ν, сСт	1,14	2,3	2,27	2,97	3,93	5,83	7,63	18,5
	ρ, кг/м <sup>3</sup>	0,767	0,815	0,8045	0,817	0,8295	0,842	0,8545	0,892
Цетанове число		38	45	43,1	44,8	46,5	48,2	49,9	55
Hu, Мдж/кг		42,44	42,43	38,7	39,4	39,7	40,3	40,83	37,1

Як видно з табл. 1, для суміші з 70 % гасу і 30 % олії, та 50 % гасу та 50 % олії зміна циклової подачі є незначною, а пускова подача може збільшуватися. Для суміші 30 % гасу та 70 % олії циклова подача помітно зменшується на всіх швидкісних режимах роботи паливного насоса високого тиску, що може бути наслідком збільшення в'язкості суміші.

Результати розрахунку показують, що зміна потужності двигуна при роботі з паливною сумішшю 70/30 становить близько 1 %, що знаходиться у межах точності розрахунку. Зменшення потужності при роботі на суміші складу 50/50 може становити близько 4 %; а при роботі на суміші складу 30/70 зменшення потужності може бути 10–12 %.

### Висновки

Згідно з проведеними дослідженнями можна стверджувати, що використання пального на основі рослинних олій холодного віджимання із гасом дозволять в майбутньому замінити дизельне пальне для автотракторних двигунів. Використання досліджуваного пального буде найефективнішим у весняно-осінній період, коли його споживання сільськогосподарськими виробниками буде максимальним, а погодні умови не обмежуватимуть його використання.

На нашу думку, паливна суміш на основі рослинної олії холодного віджимання та гасу у пропорції 70/30 є ефективною, оскільки найбільше відповідає вимогам до дизельного пального і практично не змінює потужність двигуна при його використанні.

Переваги застосування палива на основі рослинної олії холодного віджимання та гасу:

1. вище цетанове число порівняно з мінералізованим дизпаливом, це покращує запуск двигуна;
2. використання цього пального дозволить зменшити шкідливі викиди, оскільки воно виготовлено на основі поновлювальної сировини і всі шкідливі речовини повністю вбираються рослинами;
3. вищий показник змащувальної здатності цього пального в порівнянні з традиційним сприятиме збільшенню терміну експлуатації паливної апаратури;
4. висока температура спалаху сприяє кращій пожежобезпечності;
5. за чіткого дотримання рекомендацій це пальне можна виготовляти на сільськогосподарських підприємствах з власної сировини.

Проте наведені розрахунки потребують експериментального підтвердження та одночасного дослідження характеру процесів сумішоутворення і згоряння в циліндрі двигуна при використанні суміші ріпакової олії з авіаційним гасом.

### Список літератури

1. Васильев И.П. Влияние топлива растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля / И.П. Васильев. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2009. – 240 с.
2. Колчин А.Ч. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / А.Ч. Колчин, В.П. Демидов. – М.: Высш. шк., 1980. – 409 с.
3. Масло рапсовое. Технические условия: ГОСТ-8988-77. – [Введен 1977 –07–01]. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 7 с.
4. Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості: ДСТУ-33-2003 (ІСО-3104-94). – [Чинний від 2003-01-23]. – К.: Держкомітет з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2013. – 18 с.
5. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности: ГОСТ-3900-85. – [Введен 1987 –01–01]. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 36 с.
6. Паливо дизельне. Технічні умови: ДСТУ 3868-99. – [Чинний від 1999-09-01]. – К.: Держстандарт України, 1999. – 9 с.
7. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия: ГОСТ 10227-86. – [Введен 1986 –11–21]. – М.: Стандартиформ, 2008. – 7 с.

*Рассмотрен вопрос возможности использования в качестве альтернативного топлива для тракторного дизеля смеси рапсового масла и авиационного керосина. Исследовано влияние на свойства такой смеси изменения ее состава и температуры. Определен оптимальный состав топливной смеси и влияние этого состава на цетановое число и ее теплотворную способность. Проведен тепловой расчет двигателя при работе на смеси различного состава для определения возможного влияния на мощность двигателя.*

***Дизельный двигатель, дизельное топливо, растительное масло, керосин, цетановое число, теплотворная способность, изменение мощности двигателя.***

*The article investigates the problem of using the mix of rape oil and aviation petroleum as an alternative source of fuel for tractor diesel engines. The influence on the characteristics of such a mix, the changes in its composition and temperature were determined.*

*The optimum composition of the fuel mix and the influence of this composition and its heat value was determined. The heat calculation of the engine when working on the mix of different composition was conducted in order to determine the possible impact on the engine power.*

***Diesel engine, diesel fuel, vegetable oil, kerosene, cetane number, head value, the charge in engine power.***

УДК 621.865.8

## **ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ВИКОРИСТАННЯ ПНЕВМАТИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

***О.М. Фендьо, кандидат технічних наук  
Тернопільський національний педагогічний  
університет імені В.Гнатюка***

*Розглянуто основні види пневматичного транспорту залежно від їх конструктивних параметрів та необхідної вантажопідйомності. Наведено опис конструкцій та принцип роботи пневматичних транспортних пристроїв для транспортування сипких, порошкоподібних і кускових матеріалів по трубопроводах і аерожолобах з використанням стиснутого або розрідженого повітря. Відзначено переваги та недоліки використання пневматичного транспорту в сільському господарстві.*

***Транспортування, пневматичний транспорт, стиснуте повітря, розрідження, струмись повітря.***

Ефективність виробництва, в тому числі і сільськогосподарського, багато в чому залежить від продуктивності та надійності обладнання, яке забезпечує вантажно-розвантажувальні, транспортні та складські операції. Нині в сільському господарстві широко застосовують транспортування сипкого вантажу за допомогою пневматичного транспорту. Однак аналіз наукових робіт показує, що актуальними залишаються проблеми енергозбереження, скорочення споживання стиснутого повітря, обмеження рівня тиску в пневмосистемі, що підтверджує необхідність подальших теоретичних та експериментальних досліджень у цій галузі.

**Мета досліджень** – аналіз існуючих досліджень та результатів практичного використання пневматичного транспорту в сільськогосподарському виробництві з метою удосконалення конструктивного виконання

*The article investigates the problem of using the mix of rape oil and aviation petroleum as an alternative source of fuel for tractor diesel engines. The influence on the characteristics of such a mix, the changes in its composition and temperature were determined.*

*The optimum composition of the fuel mix and the influence of this composition and its heat value was determined. The heat calculation of the engine when working on the mix of different composition was conducted in order to determine the possible impact on the engine power.*

***Diesel engine, diesel fuel, vegetable oil, kerosene, cetane number, head value, the charge in engine power.***

УДК 621.865.8

## **ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ВИКОРИСТАННЯ ПНЕВМАТИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

***О.М. Фендьо, кандидат технічних наук  
Тернопільський національний педагогічний  
університет імені В.Гнатюка***

*Розглянуто основні види пневматичного транспорту залежно від їх конструктивних параметрів та необхідної вантажопідйомності. Наведено опис конструкцій та принцип роботи пневматичних транспортних пристроїв для транспортування сипких, порошкоподібних і кускових матеріалів по трубопроводах і аерожолобах з використанням стиснутого або розрідженого повітря. Відзначено переваги та недоліки використання пневматичного транспорту в сільському господарстві.*

***Транспортування, пневматичний транспорт, стиснуте повітря, розрідження, струмись повітря.***

Ефективність виробництва, в тому числі і сільськогосподарського, багато в чому залежить від продуктивності та надійності обладнання, яке забезпечує вантажно-розвантажувальні, транспортні та складські операції. Нині в сільському господарстві широко застосовують транспортування сипкого вантажу за допомогою пневматичного транспорту. Однак аналіз наукових робіт показує, що актуальними залишаються проблеми енергозбереження, скорочення споживання стиснутого повітря, обмеження рівня тиску в пневмосистемі, що підтверджує необхідність подальших теоретичних та експериментальних досліджень у цій галузі.

**Мета досліджень** – аналіз існуючих досліджень та результатів практичного використання пневматичного транспорту в сільськогосподарському виробництві з метою удосконалення конструктивного виконання

пневматичних пристроїв, розробки нових конструктивних рішень, адаптованих до конкретних умов роботи, що дасть можливість зменшити питому енергоємність, підвищити стабільність транспортування та скоротити нерезультативне витрачання ресурсів.

**Результати досліджень.** Пневматичні транспортні установки – це комплекс пристроїв, здатних переміщувати сипкі (порошкоподібні, зернисті, подрібнені тощо) вантажі за допомогою стиснутого або розрідженого газу [1]. При цьому в трубопроводах як транспортує середовище використовується повітря. Переміщення сипких матеріалів здійснюється шляхом переносу твердих часточок матеріалу в завислому стані за рахунок обтікаючого потоку повітря, в результаті чого матеріал набуває текучості. Робота пневмотранспортних установок зумовлена рухом повітря внаслідок різниці тисків на початку і в кінці трубопроводу, що створені нагнітальними або вакуумними насосами [3]. При цьому пневмотранспортування може використовуватись як для масових, так і для штучних вантажів.

Областю застосування пневматичного транспорту є агропромисловий комплекс, підприємства харчової промисловості [2], мукомельні і зернопереробні підприємства [4], де пневмотранспорт використовують для внутрішньоцехового і міжцехового переміщення зерна, проміжних продуктів помелу і готової продукції. Продуктивність пневматичних транспортних установок становить від кількох кг до 700 т за 1 год, при цьому довжина транспортної лінії може сягати 2 км, висота підйому – до 300 м, вагова концентрація суміші – більше 100. У системах пневматичного транспорту переважно використовують трубопроводи діаметром від 70 до 1200 мм, які прокладають по складній траєкторії під необхідним кутом або з поворотами, що є неможливим для пристроїв механічного транспорту.

До складу пневматичної транспортної установки для переміщення сипких або порошкоподібних матеріалів входять завантажувальний пристрій (насос, живильник, сопло), транспортний трубопровід, перемикач трубопроводу, пиловловлювачі і пристрій керування. Процес пневматичного транспортування значно залежить від концентрації часток транспортованого матеріалу в аеросуміші. Зношування трубопроводів збільшується із зростанням швидкості транспортованих часток, тому доцільним є транспортування при низьких швидкостях твердої фази. Зменшення швидкості твердих часток безпосередньо пов'язано зі зниженням швидкості потоку, що також економічно вигідно. Поряд з цим, недоцільним є збільшення концентрації транспортованого матеріалу в трубопроводі, що може призвести до перерізання транспортної труби [7].

Пневмотранспортні установки відрізняються видами завантажувальних пристроїв, тиском несучого потоку в системі, ваговими співвідношеннями транспортованих часток матеріалу і повітря, тобто – концентрацією суміші. Розглянемо детальніше основні види пневматичного транспорту, який використовується на зернопереробних підприємствах (рис. 1) [5].

Наведені пневмотранспортні установки можуть мати вертикальні і горизонтальні трубопроводи, із замкнутим або розімкнутим циклом повітря. Залежно від способу створення різниці тиску на початку і в кінці трубо-

проводу установки бувають всмоктувальні, нагнітальні і комбіновані. У всмоктувальних установках тиск повітря в трубопроводі менше атмосферного, а в нагнітальних – більше. Всмоктувальні установки створюють максимальне розрідження від 50 до 95 кПа, тобто втрати тиску по всій установці не можуть бути більше вказаної величини, що обмежує транспортування аеросуміші та її концентрацію. Комбіновані установки поєднують всмоктувальні і нагнітальні систем, їх застосовують за необхідності забору сипкого матеріалу з насипу і переміщення його на великі відстані.



**Рис. 1. Класифікація пневмотранспортних установок**

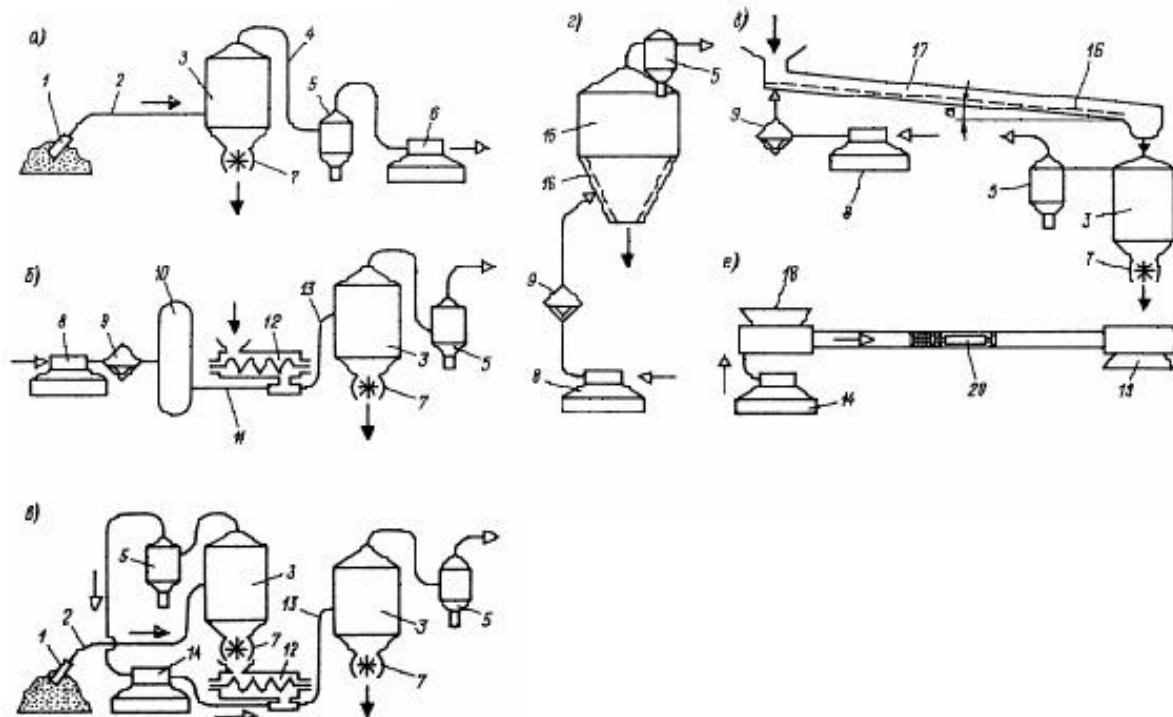
За різницею тиску на початку і в кінці пневмотранспортної установки розрізняють установки низького, середнього і високого тиску. Для установок низького тиску (до 5000 Па) застосовують вентилятори високого тиску; для установок середнього тиску (до 10 000 Па) – вентилятори високого тиску або повітродувні машини; для установок високого тиску (більше 10 000 Па) компресори і вакуум-насоси [5]. Для міжцехового переміщення на зернопереробних підприємствах використовують установки, що працюють на низьких і високих концентраціях аеросуміші.

Залежно від кількості трубопроводів виділяють установки прості (з одним трубопроводом) і розгалужені (з двома або більше трубопроводами). За способом установки пневматичного обладнання – стаціонарні, пересувні і плаваючі.

Залежно від місця розташування обладнання пневмотранспортні установки поділяють на внутрішньоцехові і міжцехові, коли прийом здійснюється в одному цеху, розвантаження – в іншому.

Основні схеми пневмотранспортних установок, які отримали широке використання в сільськогосподарському виробництві, наведено на рис. 2 [6].

Процес пневмотранспортування показано на діаграмі залежності перепаду тиску від швидкості повітряного потоку. На рис. 3 наведена фазова діаграма для систем з висхідним потоком газу [7].



**Рис. 2 - Схеми пневмотранспортних установок:**

а – всмоктувальна; б – нагнітальна; в – всмоктувально-нагнітальна; г – аераційна; д – аеротранспортна; е – контейнерна; 1 – сопло; 2 – всмоктувальний матеріалопровід; 3 – розхідний бункер; 4 – трубопровід; 5 – пиловловлювач; 6 – збудник тяги; 7 – затвор розхідного бункера; 8 – компресор; 9 – вологовідділювач; 10 – повітрязбірник; 11 – політропровід; 12 – живильник; 13 – нагнітальний трубопровід; 14 – вентилятор; 15 – вантаж; 16 – мікропориста перегородка; 17 – аерожолоб; 18 – завантажувальна станція; 19 – розвантажувальна станція; 20 – контейнер

Лінія *OABD* характеризує тверду фазу, *OEG* – газову. Лінійний масштаб діаграми обмежений штрих– пунктирною лінією. Криві *KLM* та *NPR* відповідають режимам пневмотранспорту з різним навантаженням на площу поперечного перерізу трубопроводу. Точки *K* і *N* відповідають граничним концентраціям матеріалу при визначених навантаженнях площі поперечного перерізу вертикального підйомника. При більш високій концентрації матеріалу транспортування припиняється [7].

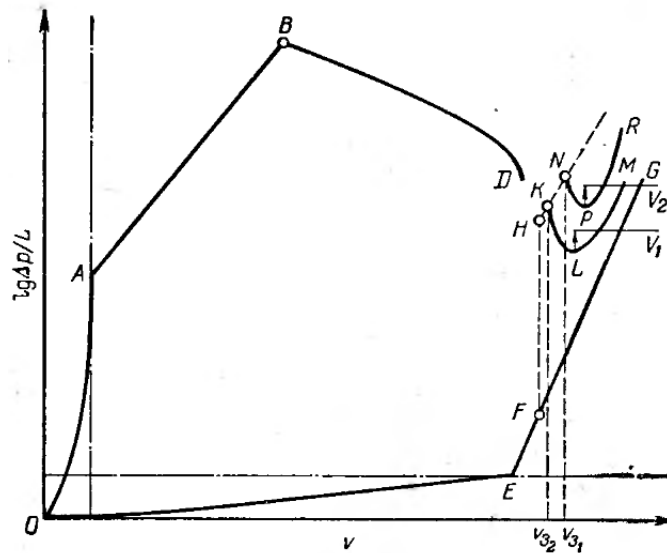


Рис. 3. Діаграма фаз

Ефективність пневматичної транспортної системи оцінюють за величиною навантаження на площу поперечного перерізу трубопроводу  $q$ , тобто за кількістю сипкого матеріалу, який проходить через одиницю площі поперечного перерізу за одиницю часу [7].

$$q = 3,6Gt/F,$$

де  $Gt$  – витрата твердого матеріалу через пневмотранспортер, кг/с.

Перевагами пневматичних транспортних комплексів є те, що вони потребують відносно малих площ для обладнання і трубопроводів, можуть бути прокладені із врахуванням будь-яких місцевих умов виробництва, навіть у важкодоступних місцях. Пневматичне обладнання відрізняється простотою експлуатації, легкістю керування, можливістю дистанційного управління, дозволяє поєднувати операції транспортування вантажу з одночасним просушуванням, відлущуванням та очисткою зерна від легких домішок.

Недоліками пневмотранспорту є відносно висока питома витрата електроенергії на 1 т транспортованого вантажу і зношення трубопроводів та інших частин установки в місцях стикання з транспортованим матеріалом.

### Висновки

Проаналізовано основні види пневматичного транспорту, що отримали широке використання в сільськогосподарському виробництві, розглянуто принцип роботи транспортних пристроїв для переміщення сипких, порошкоподібних і зернових матеріалів із застосуванням стиснутого або розрідженого повітря. Відзначено переваги та недоліки використання пневмотранспорту з метою ефективного їх використання в досліджуваній галузі.

### Список літератури

1. Автоматическая загрузка технологических машин: справ. / [И.С. Бляхеров, Г.М. Варьяш, А.А. Иванов и др.]; под общ. ред. И.А. Клусова. – М.: Машиностроение, 1990. – 440 с.

2. Бурсиан В.Р. Пневматический транспорт на предприятиях пищевой промышленности / В.Р. Бурсиан. – [2-е изд. испр. и доп.]. – М.: Пищ. пром-сть. – 267 с.
3. Вайсман М.Р. Вентиляционные и пневмотранспортные установки / М.Р. Вайсман, И.Я. Грубиян. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Колос, 1984. – 367 с.
4. Дзядзио А.М. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях / А.М. Дзядзио, А.С.Кеммер. – М.: Колос, 1987. – 295 с.
5. Зарницына Э.Г. Вентиляционные установки и пневмотранспорт / Э.Г. Зарницына, О.Н. Терехова. – Барнаул: АлтГТУ, 2011. – 228 с.
6. Пневмотранспортное оборудование: справ. / М.П. Калинушкин, М.А. Коппель, В.С. Серяков, М.М. Шапунов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 286с.
7. Разумов И.М. Псевдоожидание и пневмотранспорт сыпучих материалов / И.М. Разумов. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Химия, 240 с.

*Рассмотрены основные виды пневматического транспорта в зависимости от их конструктивных параметров и грузоподъемности. Представлено описание конструкций пневматических транспортных устройств для транспортировки сыпучих, порошкообразных и кусковых материалов по трубам с использованием сжатого или разреженного воздуха. Отмечены преимущества и недостатки пневмотранспорта в сельском хозяйстве.*

**Транспортирование, пневматический транспорт, сжатый воздух, разрежение, струя воздуха.**

*The basic types of pneumatic transport , depending on the design parameters and the required capacity. The description of the construction and working principle of pneumatic transport device for transporting granular and powder materials and piecewise through the pipes and aerzholobah using compressed or rarefied air. Noted the advantages and disadvantages of using pneumatic transport in agriculture.*

**Transportation, air transportation, compressed air, vacuum, air jet .**

УДК: 676.057.7

## **ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ЕКСТРУДОВАНОЇ СОЛОМИ ПШЕНИЦІ РОЗЧИНОМ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ВИХОДУ БІОГАЗУ**

**І.В. Фльонц, кандидат технічних наук  
С.М. Підховна, Н.М. Голяш, інженери  
ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”**

*Досліджено залежність виходу біогазу від попередньої обробки соломи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  різної концентрації (із розрахунку 50 кг  $\text{CaO}/\text{т}$*

2. Бурсиан В.Р. Пневматический транспорт на предприятиях пищевой промышленности / В.Р. Бурсиан. – [2-е изд. испр. и доп.]. – М.: Пищ. пром-сть. – 267 с.
3. Вайсман М.Р. Вентиляционные и пневмотранспортные установки / М.Р. Вайсман, И.Я. Грубиян. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Колос, 1984. – 367 с.
4. Дзядзио А.М. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях / А.М. Дзядзио, А.С.Кеммер. – М.: Колос, 1987. – 295 с.
5. Зарницына Э.Г. Вентиляционные установки и пневмотранспорт / Э.Г. Зарницына, О.Н. Терехова. – Барнаул: АлтГТУ, 2011. – 228 с.
6. Пневмотранспортное оборудование: справ. / М.П. Калинушкин, М.А. Коппель, В.С. Серяков, М.М. Шапунов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 286с.
7. Разумов И.М. Псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов / И.М. Разумов. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Химия, 240 с.

*Рассмотрены основные виды пневматического транспорта в зависимости от их конструктивных параметров и грузоподъемности. Представлено описание конструкций пневматических транспортных устройств для транспортировки сыпучих, порошкообразных и кусковых материалов по трубам с использованием сжатого или разреженного воздуха. Отмечены преимущества и недостатки пневмотранспорта в сельском хозяйстве.*

**Транспортирование, пневматический транспорт, сжатый воздух, разрежение, струя воздуха.**

*The basic types of pneumatic transport , depending on the design parameters and the required capacity. The description of the construction and working principle of pneumatic transport device for transporting granular and powder materials and piecewise through the pipes and aerzholobah using compressed or rarefied air. Noted the advantages and disadvantages of using pneumatic transport in agriculture.*

**Transportation, air transportation, compressed air, vacuum, air jet .**

УДК: 676.057.7

## **ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ЕКСТРУДОВАНОЇ СОЛОМИ ПШЕНИЦІ РОЗЧИНОМ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ВИХОДУ БІОГАЗУ**

**І.В. Фльонц, кандидат технічних наук  
С.М. Підховна, Н.М. Голяш, інженери  
ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”**

*Досліджено залежність виходу біогазу від попередньої обробки соломи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  різної концентрації (із розрахунку 50 кг  $\text{CaO}/\text{т}$*

*соломи, 100 кг СаО/т соломи, 150 кг СаО/т соломи), способу додавання розчину гашеного вапна до соломи (до, під час, після екструзії).*

***Целюлоза, лігнін, попередня обробка, концентрація, екструдер, пелети, біогаз.***

Світова ситуація з енергоносіями характеризується, з одного боку, постійним зростанням цін на викопне паливо, особливо нафту, а з другого – зменшенням її розвіданих запасів. За деякими прогнозами, запаси нафти практично вичерпаються до 2050 р. Водночас загальне використання енергії людством невпинно зростає [4].

Нестача викопних енергетичних ресурсів у світі призводить до розширення використання альтернативних джерел енергії. Замінити викопні джерела енергії зможе біомаса – екологічно чиста поновлювана сировина, щорічні ресурси якої на планеті значно перевищують енергетичні потреби людства. Тому виробництво енергоносіїв із біомаси стає одним із найважливіших пріоритетів при вирішенні енергетичних та екологічних проблем і має глобальну перспективу для подальшого розвитку [3].

Серед альтернативних джерел енергії все більшого значення набуває використання біогазу, який є продуктом сільськогосподарського виробництва, а саме – переробки відходів, до яких належать гній, гноївка, солома, стебла тощо [2]. В Україні надлишок соломи та стебел усіх культур становить приблизно 20 млн т.

Целюлоза має кристалічну структуру і тому її біодеградація ускладнена. Крім того, лігнін, який знаходиться у складі лігніноцелюлози, ускладнює її доступність для молекул ферментів [8].

Солома важко піддається анаеробному бродінню, оскільки містить міцний лігніноцелюлозний комплекс. Сільськогосподарські відходи, наприклад солома пшениці, містять високий вміст лігніну, функція якого полягає в забезпеченні структурної опори та захисту від мікробних уражень. Лігнін тісно пов'язаний із целюлозою та геміцелюлозою і робить їх недоступними для мікробної деградації. Таким чином, є відмінність між повним органічним вмістом біомаси, яка теоретично може бути перетворена в біопаливо, і кількістю, яка фактично перероблюється мікроорганізмами. Лігніноцелюлозний комплекс розкладається, а це робить целюлозу і геміцелюлозу доступними для мікроорганізмів [6]. Мета попередньої обробки полягає в руйнуванні кристалічної структури целюлози і геміцелюлози та видалення лігніну.

Є різні способи попередньої обробки лігніноцелюлозних матеріалів, які роблять їх доступними для анаеробних мікроорганізмів. Одним із них є попередня хімічна обробка.

Хімічні методи попередньої обробки ґрунтуються на здатності тих чи інших хімічних сполук розчиняти лігнін або целюлозу, а також призводять до набухання чи руйнування її структури [7].

Попередня ефективна та економічна обробка повинна відповідати таким вимогам:

- 1) уникнення руйнування целюлози і геміцелюлози;

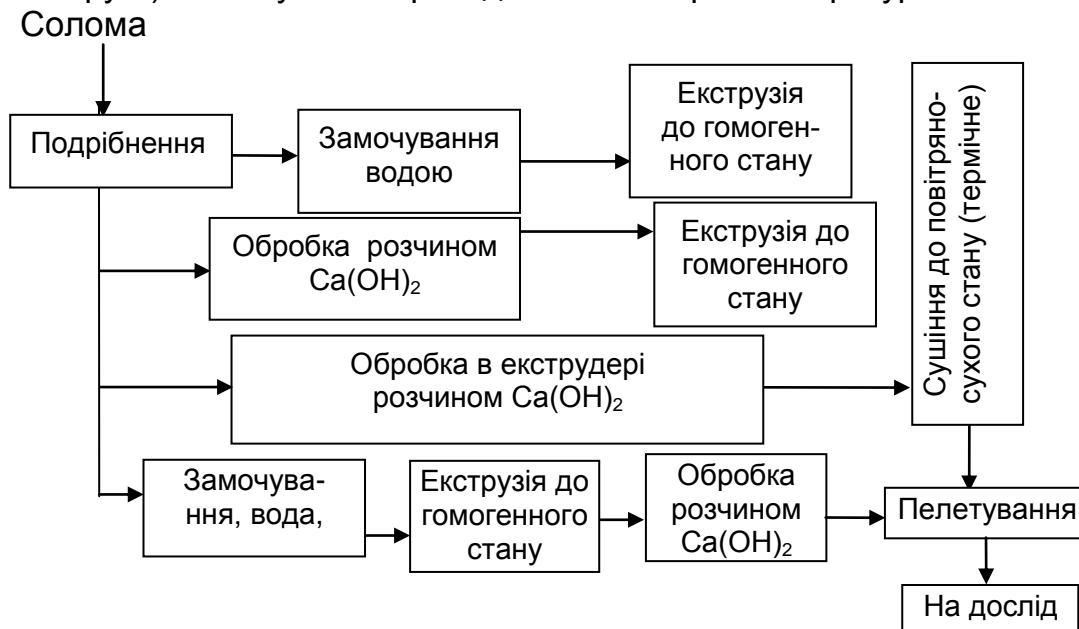
- 2) уникнення формування інгібіторів для ферментів та мікроорганізмів;
- 3) зведення до мінімуму потреб в енергії;
- 4) зниження вартості матеріалів для будівництва реакторів попередньої обробки;
- 5) використання дешевих хімікатів [6].

Методи попередньої обробки лігніноцелюлозних матеріалів поділяються на фізичні, фізико-хімічні, хімічні та біологічні.

У науково-дослідній лабораторії “Технології виробництва біогазу” проведено дослідження попередньої обробки соломи пшениці для виробництва біогазу із застосуванням хімічних засобів, зокрема обробка соломи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , який є порівняно дешевим хімікатом [1].

Новизна вибраної теми полягає у використанні хімічної обробки в поєднанні з екструзією. При екструзії проходить додаткова термохімічна обробка. Досліджували пелети екструдованої соломи пшениці, оскільки у такому вигляді сировина найкраще транспортується на великі відстані або зберігається на складі (менший об’єм при транспортуванні і менші площі для складування). Пелети доцільні для безперервної роботи біогазових установок, оскільки відходи сільськогосподарського виробництва мають сезонний характер.

**Мета досліджень** – визначення інтенсивності метанового бродіння пелет соломи пшениці залежно від обробки розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  різної концентрації (50 кг  $\text{CaO}$ /т соломи, 100 кг  $\text{CaO}$ /т соломи, 150 кг  $\text{CaO}$ /т соломи), способу замочування в розчині  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (перед екструзією, під час екструзії, після екструзії). Замочування проводилось 5 хв при температурі  $+20^\circ\text{C}$ .



**Рис. 1. Схема технологічного процесу приготування сировини (соломи пшениці) для дослідів**

**Матеріали і методика досліджень.** Схема технологічного приготування сировини (соломи пшениці) для дослідів зображена на рис.1. Ви-

мірювання об'єму біогазу проводилось за методом Криворучка. Для проведення досліду використовувалися поліетиленові пакети (ферментери), пристрій для запаювання пакетів, рН-метр, калібрований циліндр. До розрахованої кількості біомаси додавали затравку з розрахунку 1 частина проби до 4 частин затравки, витіснили повітря з ферментера і герметично запаювали отвір. До запаюваного пакета підвішували гирю, а пакет опускали у вимірювальний циліндр. Таким чином визначався початковий об'єм досліджуваного варіанта. Після цього пакет підвішували в термостат і витримували там при температурі 37,5° С не менше 35 діб. Вимірювання об'єму пакетів проводили через кожні сім днів.

*Об'єктами досліджень були:* солома пшениці з Козівського району Тернопільської області (суха речовина(СР) - 86,94 % ) та затравка (гноївка великої рогатої худоби), яка профільрована через сито.

**Результати досліджень.** Результати досліджень показали, що попередня обробка соломи пшениці різної концентрації Са(ОН)<sub>2</sub> підвищує доступність гідролітичних ферментів до полімерних вуглеводів, що призводить до розщеплення лігніноцелюлози і збільшення виходу біогазу (таблиця).

**Вихід біогазу, м<sup>3</sup>/т СР  
(нормальні умови)**

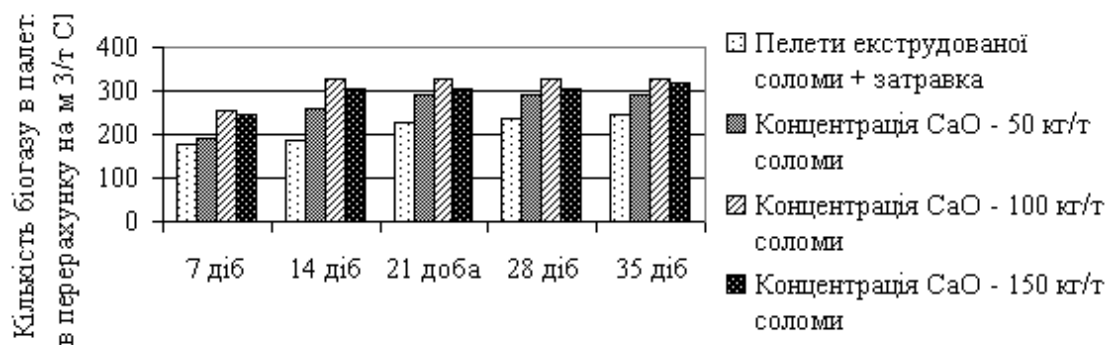
№ з/п	Способи обробки соломи	Коефіцієнт кореляції (R)	Маса СаО, кг/т соломи	Доба				
				7	14	21	28	35
1	Пелети екструдованої соломи пшениці	0.95070	0	178	186	229	235	245
2	Пелети екструдованої соломи з Са(ОН) <sub>2</sub> до екструзії	0.85078	50	193	259	293	293	293
3		0.71443	100	255	326	327	327	327
4		0.80975	150	246	303	303	303	317
5	Пелети екструдованої соломи з Са(ОН) <sub>2</sub> під час екструзії	0.82375	50	251	355	355	377	377
6		0.72067	100	291	393	393	395	395
7		0.92982	150	284	352	360	399	399
8	Пелети екструдованої соломи з Са(ОН) <sub>2</sub> після екструзії	0.94972	50	235	263	311	330	330
9		0.75039	100	283	337	342	342	342
10		0.84641	150	209	302	315	331	331

Залежність виходу біогазу від пелет соломи пшениці, яка оброблена розчином Са(ОН)<sub>2</sub> (перед, під час, після екструзії), зображена на діаграмах (рис. 2 – 4).

Динаміка газоутворення показує різке зростання активності за 14 діб і наступний спад. Можна зауважити, що динаміка утворення біогазу змінюється не плавно: є періоди затухання, а потім збільшення виділення біогазу. За 35 діб процес утворення газу в більшості випадків закінчується (див. рис. 2 – 4). Найбільший вихід біогазу одержано з пелет екструдованої соломи пшениці, яка оброблена розчином Са(ОН)<sub>2</sub> (з розрахунку 150 кг СаО/т соломи) під час екструзії – 399 м<sup>3</sup>/т, що на 63 % більше від вихо-

ду біогазу з пелет екструдованої соломи пшениці, яка не оброблялася розчином гашеного вапна.

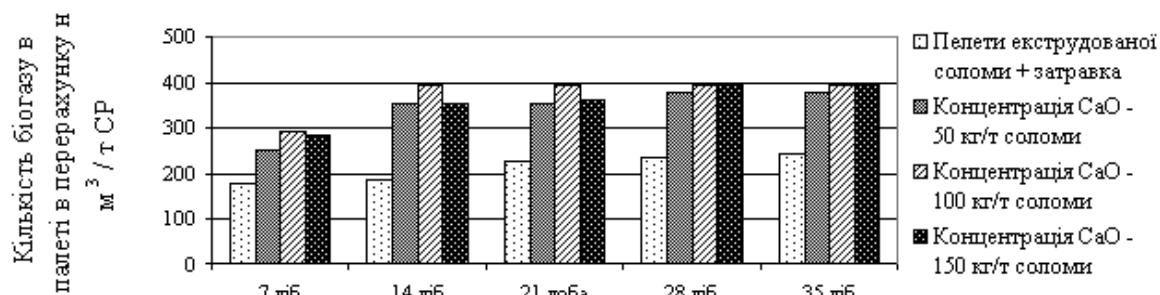
Проаналізуємо детальніше способи обробки гашеним вапном. При обробці соломи пшениці до екструзії вихід біогазу збільшився: при концентрації розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  50 кг  $\text{CaO}/\text{т}$  – на 20 %, 100 кг  $\text{CaO}/\text{т}$  – 33 %, 150 кг  $\text{CaO}/\text{т}$  – 29 % (див. рис. 2).



**Рис. 2 Залежність виходу біогазу від попередньої обробки пшеничної соломи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з різною концентрацією (50 кг/т  $\text{CaO}$ , 100 кг/т  $\text{CaO}$ , 150 кг/т  $\text{CaO}$ )**

З рис. 2 видно, що найбільший вихід метану (327 м<sup>3</sup>/т CP) отримано від пелет соломи пшениці, які оброблялися до екструзії розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з розрахунку 100 кг  $\text{CaO}/\text{т}$  (на 33 % більше від контрольного досліді).

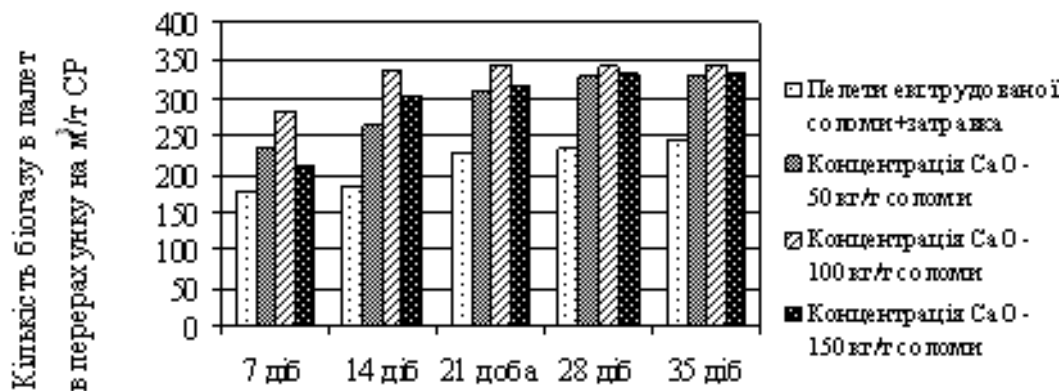
При обробці соломи пшениці під час екструзії вихід біогазу збільшився: при концентрації розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  50 кг  $\text{CaO}/\text{т}$  – на 54 %, 100 кг  $\text{CaO}/\text{т}$  – 61 %, 150 кг  $\text{CaO}/\text{т}$  – 63 % (рис. 3).



**Рис. 3 Залежність виходу біогазу від безпосередньої обробки в екструдері до гомогенного стану соломи пшениці розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з різною концентрацією (50 кг/т  $\text{CaO}$ , 100 кг/т  $\text{CaO}$ , 150 кг/т  $\text{CaO}$ )**

З наведеної діаграми видно, що найбільший вихід метану (399 м<sup>3</sup>/т CP) отримано від пелет соломи пшениці, які оброблялись під час екструзії розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з розрахунку 100 кг  $\text{CaO}/\text{т}$  (на 63 % більше від контрольного досліді).

Обробка соломи пшениці після екструзії розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з різною концентрацією збільшує вихід біогазу: при концентрації розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з розрахунку 50 кг  $\text{CaO}/\text{т}$  – на 35 %, 100 кг  $\text{CaO}/\text{т}$  – 40 %, 150 кг  $\text{CaO}/\text{т}$  – 35 %.



**Рис.4 Залежність виходу біогазу від екструдованої до гомогенного стану пшеничної соломи розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з різною концентрацією (50 кг/т CaO, 100 кг/т CaO, 150 кг/т)**

З рис.4 видно, що найбільший вихід метану (342 м<sup>3</sup>/т CP) отримано з пелет соломи пшениці, які оброблялися після екструзії розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з розрахунку 100 кг CaO/т (на 40 % більше від контрольного дослідження).

### Висновки

Лужна попередня обробка лігніноцелюлозних матеріалів є перспективною обробкою для впровадження у виробництво біогазу. Найкращий вихід біогазу отримано з пелет екструдованої соломи пшениці, які оброблялися розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (з розрахунку 150 кг CaO/т соломи пшениці) під час екструзії, що на 63 % більше від виходу біогазу, який отримано з контрольної проби (необроблена солома). Вихід біогазу з пелет соломи пшениці, яка оброблялася розчином  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з розрахунку 50 кг CaO/т соломи до екструзії, порівняно з іншими концентраціями, є найнижчим. Оптимальна концентрація розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  для впровадження у виробництво – 100 кг CaO/т соломи (+61 %), оскільки вихід біогазу практично не відрізняється від виходу, який одержано з пелет соломи пшениці з розрахунку 150 кг CaO/т соломи (+63 %), але є більш економічно вигідним.

Перевагами цього методу попередньої обробки є :

1. збільшення виходу біогазу;
2. порівняно низька вартість матеріалу;
3. можливість використання погазованого шламу (твердих і рідких відходів) як біомінералізованого добрива;
4. виділення «нейтрального»  $\text{CO}_2$ ;
5. порівняно невисокі кваліфікаційні вимоги до обслуговуючого персоналу.

Попередня обробка покращує біозасвоєння відходів для виробництва біогазу та збільшує рівень доступності матеріалів для дії бактерій. Результатом цього процесу є збагачення матеріалів, які важко піддаються конверсії, та зростання ефективності виробництва біогазу з відходів.

## Список літератури

1. Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України “Бережанський агротехнічний інститут” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bati.ber.te.ua>.
2. Дубровский В.С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов / В.С. Дубровский, І.Є. Виестур. – Рига: Зинатне, 1988. – 204 с.
3. Павліський В.М. Техніко-економічне обґрунтування вибору технологій та сільськогосподарських культур для виробництва біопалив / В.М. Павліський, Ю.П. Нагірний, О.В. Павліська [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://elibrary.nubip.edu.ua/5684/1/10nyp.pdf>
4. Сибірний А. Біопаливний етанол з лігніноцелюлози (рослинної біомаси): досягнення, проблеми, перспективи / А. Сибірний [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/portal/all/herald/2006-03/a3-3.pdf>
5. Lin Y., Tanaka S. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects // Appl. Microbiol. Biotechnol. Dec. – 2005.
6. Mohammad J. Taherzadeh and Keikhosro Karimi Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mdpi.org/ijms>.
7. Raju C.S., Ward A.J., Moller H.B. The effect of thermo-chemical pretreatment on the ultimate biogas potential of straw. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ramiran.net/ramiran2010/docs/Ramiran2010\\_0027\\_final.pdf](http://www.ramiran.net/ramiran2010/docs/Ramiran2010_0027_final.pdf).
8. Sanders J., Scott E., Weusthuis R., Mooibroek H. Bio-refinery as the bio-inspired process to bulk chemicals. Macromol Biosci, 2007.

*Исследована зависимость выхода биогаза от предварительной обработки соломы раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  различной концентрации (из расчета 50 кг  $\text{CaO}$  /т соломы, 100 кг  $\text{CaO}$  /т соломы, 150 кг  $\text{CaO}$  /т соломы), способа добавления раствора гашеной извести к соломе (до, во время, после экструзии).*

***Целлюлоза, лигнин, предварительная обработка, концентрация, экструдер, пеллеты, биогаз.***

*The dependence of biogas yield from pretreatment straw solution by different concentrations of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (at a rate of 50 kg  $\text{CaO}$  / t straw, 100 kg  $\text{CaO}$  / t straw, 150 kg  $\text{CaO}$  / t straw), kind of adding the solution of slaked lime to straw (before, during, after extrusion) were researched in this work.*

***Cellulose, lignin, pretreatment, concentration, extruder, pellets, biogas.***

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ НАПОВНЕННІ ПОЗНАЧЕНЬ НАСОСІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

*В.Є. Василенков, кандидат технічних наук  
А.С. Шуговий, студент магістратури*

*Досліджено динаміку в інформаційному наповненні позначень відцентрових насосів із врахуванням міжнародних стандартів і виявлено вплив останніх на модернізацію конструкції насосів.*

***Відцентровий насос, конструкція насосів, всмоктувальний патрубок, параметричне позначення насосів, подача, напір.***

Широке застосування в системі водопостачання отримали консольні насоси (рис.1,2), завдяки їхній надійності та зручності в експлуатації.

Консольний насос є характерним типом відцентрового насоса, робочий орган якого робоче колесо. Воно складається з 2-х дисків, між якими, об'єднуючи їх в одну конструкцію, знаходяться лопатки, плавно відігнуті в сторону, протилежну напрямку обертання колеса.

При обертанні робочого колеса на кожну частинку рідини масою  $m$  діє відцентрова сила  $F$ , яка визначається за формулою:

$$F = m r \omega^2,$$

де  $r$  – відстань від центра частинки до центра колеса, м;  $\omega = \frac{\pi n}{30}$  – кутова швидкість обертання,  $s^{-1}$ ;  $n$  – число обертів робочого колеса за хвилину, об/хв.

Під дією відцентрової сили рідина викидається до периферійної частини колеса, де створюється підвищений тиск, а в центрі колеса утворюється вакуум.

Рух рідини у всмоктувальному трубопроводі відбувається внаслідок різниці тисків над вільною поверхнею рідини в нижньому резервуарі та в центральній частині колеса, де утворюється вакуум.

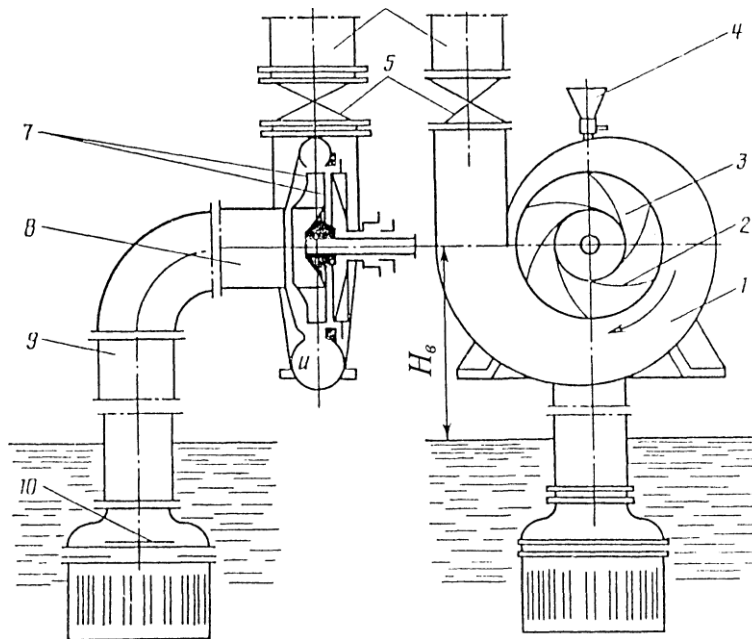
До групи консольних насосів належать відцентрові одноступеневі насоси з одностороннім підведенням рідини до робочого колеса. Колесо такого насоса розміщується на кінці вала (консолю), закріпленого в підшипниках корпусу насоса.

Матеріал деталей проточної частини консольних насосів – сірий чавун.

Конструктивно насоси мають таке виконання:

К – горизонтальні консольні з опорою на корпусі, з приводом від двигуна через пружну муфту;

КМ – консольні моноблочні. Робоче колесо встановлено на кінці продовженого вала електричного двигуна.

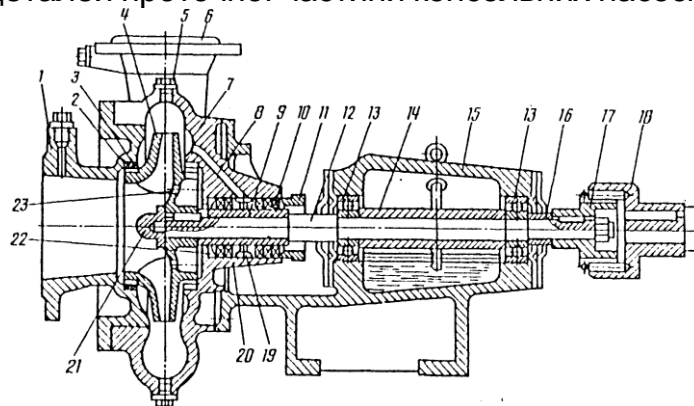


**Рис. 1. Схема консольного насоса:**

- 1 – корпус; 2 – лопатки рабочего колеса; 3 – рабочее колесо;  
 4 – горловина для заполнения корпуса насоса рідиною; 5 – засувка;  
 6 – напірний трубопровід; 7 – диски рабочего колеса;  
 8 – всмоктувальний патрубков; 9 – всмоктувальний трубопровід;  
 10 – приймальна сітка зі зворотним клапаном

Ці насоси випускаються на однакові робочі параметри і при обмежених робочих площадках перевага віддається виконанню КМ, які, як правило, мають на 30 % меншу довжину.

Матеріал деталей проточної частини консольних насосів - сірий чавун.



**Рис.2. Відцентровий консольний насос (розріз):**

- 1 – вхідний (всмоктувальний) патрубков; 2 – ущільнюоче кільце; 3 – захисне кільце; 4 – рабочее колесо; 5 – пробка отвору для під'єднання вакуумного насоса; 6 – вихідний (нагнітальний) патрубков; 7 – корпус насоса; 8 – отвір; 9 – захисна втулка; 10 – набивка сальника; 11 – кришка сальника; 12 – вал; 13 – підшипники; 14,16 – втулки; 15 – стояк опорний з масляною ванною; 17,18 – напівмуфти; 19 – кільце гідравлічного ущільнення; 20 – корпус сальника; 21 – гайка; 22 – грандбукса; 23 – розвантажувальний отвір

Консольні насоси призначені для перекачування води та інших нейтральних рідин з температурою від 0° до 85 °С ( за спеціальним замовленням – до 105 °С ) з твердими включеннями розміром до 0,2 мм, об'ємна концентрація яких не перевищує 0,1 %. Найбільший допустимий манометричний тиск на вході: для насосів типу К – 6 кгс/см<sup>2</sup>, для КМ – 3,5 кгс/см<sup>2</sup>.

Виконання насоса за вузлом ущільнення визначається температурою води та тиском на вході в насос. Ущільнення буває одинарним та подвійним. В одинарне сальникове ущільнення затворна рідина не подається. При температурі води більше ніж 85 °С або при абсолютному тиску на вході нижче атмосферного в подвійне сальникове ущільнення подається затворна вода під тиском, що перевищує тиск рідини перед ущільненням на 0,5... 1 кгс/см<sup>2</sup>. Нормальна величина витікання води назовні через сальник до 3 л/год (через сальник повинна просочуватися рідина, щоб змащувати ущільнюючі поверхні). Отже, бачимо, щоб добре орієнтуватися в консольних відцентрових насосах потрібно знати інформаційне наповнення позначень цих насосів.

**Мета досліджень** – розкриття інформаційної динаміки в позначенні відцентрових насосів з врахуванням міжнародних стандартів і впливу останніх на модернізацію конструкції насосів.

**Матеріали та методика досліджень.** Проведено техніко-аналітичний аналіз в позначенні насосів на прикладі консольних відцентрових за періоди: до 1982 року, з 1982 до 1990 р., і з 1990 року і донині.

**Результати досліджень.** У позначення насосів традиційно закладається багато інформації.

До 1982 року позначення консольних насосів було таким: наприклад 4К-6, де “4” – діаметр всмоктувального патрубку в мм, зменшений в 25 разів; “К” – консольний; “6” – коефіцієнт швидкохідності насоса, зменшений в 10 разів і округлений.

Коефіцієнт швидкохідності – умовне число обертів, зв'язане з геометричними розмірами робочого колеса, визначається за формулою:

$$n_s = \frac{3,65n\sqrt{Q}}{4\sqrt{H^3}},$$

де  $Q$  – подача, м<sup>3</sup>/с,  $H$  – напір, м (при максимальному ККД);  $n$  – частота обертання, об/хв.

Більш швидкохідні насоси мають відносно низький напір.

Це позначення в більшій мірі відображало конструктивно – розмірні характеристики насосів.

У 1982 році було введено параметричне позначення насосів. Той же насос позначався К 90/85, де “90” – подача, м<sup>3</sup>/год, “85” – напір, м (при максимальному ККД).

Це позначення в більшій мірі відображало споживчі властивості насоса.

З 1990 року введено позначення насосів відповідно до міжнародних стандартів, а саме міжнародного євростандарту ISO 2853. Якщо попередні позначення змінювалися без суттєвої зміни конструкції, то введення міжнародного євростандарту вимагає значно змінити конструкцію

згідно з вимогами цього стандарту. Той же насос позначається К100–65–250аБ–СД, де “100” – діаметр всмоктувального патрубка, мм; “65” – діаметр напірного патрубка, мм; “250” – номінальний діаметр робочого колеса, мм, “а” – індекс обточування робочого колеса. Як правило більше двох обточувань не буває, тому позначення вводять “а” і “б” ( якщо колесо без обточування – то індексу немає ), “Б” – виконання за матеріалом проточної частини.

У зв'язку з великою кількістю рідин, що перекачуються, в насосах використовується значна кількість матеріалів, для яких введено такі позначення:

А – вуглецева сталь; В – чавун, у тому числі сірий чавун ( як правило цей матеріал не вказується); Б – бронза; К – хромонікелева сталь; Ю – сплав алюмінію; П – пластмаса; Р – гумове покриття; Ф – кераміка, фарфор; “СД” – виконання за видом ущільнення; С – одинарне сальникове ущільнення ( без подачі затворної рідини); СД – подвійне сальникове ущільнення ( з подачею затворної рідини).

Основною відмінною та перевагою конструкції відцентрових насосів ( з осьовим входом рідини на робоче колесо ), розроблених відповідно до міжнародного стандарту, є те, що демонтаж насоса можна здійснити без від'єднування напірного та всмоктувального трубопроводів. При цьому трубопроводи кріпляться до корпусу, а робоче колесо виймається з боку електричного двигуна. Це передбачено конструкцією з'єднувальної муфти між насосом і електродвигуном.

### **Висновки**

На підставі техніко-аналітичного аналізу в позначенні насосів, на прикладі консольних відцентрових, виявлено, що за період до 1982 року в позначенні в більшій мірі відображалось конструктивно-розмірні характеристики насосів, а саме діаметр всмоктувального патрубка і геометричні розміри робочого колеса; з 1982 до 1990 роки введено параметричне позначення насосів, що відображало величину подачі і напору при максимальному ККД і з 1990 року і донині основною відмінною та перевагою конструкції відцентрових насосів (з осьовим входом рідини на робоче колесо), розроблених згідно з міжнародним стандартом, є те, що демонтаж насоса можна здійснити без від'єднування напірного та всмоктувального трубопроводів.

### **Список літератури**

1. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривід / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан. – Запоріжжя: Вид-во „Прем'єр”, 2005, – 461 с.
2. Технико-аналитический обзор выпускаемого насосного оборудования. Государственный комитет РСФСР по материально-техническому обеспечению республиканских и региональных программ. – М.: Московская посредническая компания, 1991. – С. 5–23.

*Исследована динамика в информационном обозначении центробежных насосов с учетом международных стандартов и выявлено влияние последних на модернизацию конструкции насосов.*

***Центробежный насос, конструкция насосов, всасывающий патрубок, параметрическое обозначение насосов, подача, напор.***

*The dynamics in the information designation of centrifugal pumps according to international standards and at last found modernization pump designs.*

***Centrifugal pump, design pump, suction pipe, parametric symbol pumps, flow, pressure.***

УДК 621/363.66 (477)

## **РОЗВИТОК ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПІДГОТОВКИ ЗЕРНА ДО ЗГОДОВУВАННЯ ТВАРИНАМ**

***Л.О. Сторожук, кандидат історичних наук***

*Проаналізовано історію розвитку технічних засобів підготовки зерна до згодовування тваринам. При визначенні періодів історії зернопереробної техніки враховувалась як самостійність розвитку науки і практики кормоприготування, так і його зв'язок з надбаннями природознавства та технічних наук.*

***Зернові корми, технологічні прийоми, годівля тварин, комбікорми, комплексна механізація, автоматизовані потокові лінії.***

Процес співіснування людини з одомашненою твариною перш за все накладав обов'язковість забезпечення життєдіяльності тварини, частково, а пізніше і повністю, відірваної від природного середовища. Найперше діяльність людини мала забезпечувати кормовими матеріалами і організовувати годівлю тварин. Накопичення запасу кормів, особливо для зимового періоду, було результатом важкої праці людини. Тому з давніх-давен принцип раціонального використання кормів, особливо це стосувалось найціннішої їх складової – зернових кормів, лежав в основі розвитку технічних засобів переробки.

Подальше розширення використання тварин обумовило поглиблений інтерес до підготовки зернових кормів, доцільнішого їх використання в поєднанні з іншими кормами, забезпечення кращого виходу тваринницької продукції і безумовно зменшення затрат праці. Життя диктувало на всіх етапах історичного розвитку відшукувати і вдосконалювати технологічні прийоми підготовки зернового корму до згодовування тваринам поряд з іншими видами кормів.

*Исследована динамика в информационном обозначении центробежных насосов с учетом международных стандартов и выявлено влияние последних на модернизацию конструкции насосов.*

***Центробежный насос, конструкция насосов, всасывающий патрубок, параметрическое обозначение насосов, подача, напор.***

*The dynamics in the information designation of centrifugal pumps according to international standards and at last found modernization pump designs.*

***Centrifugal pump, design pump, suction pipe, parametric symbol pumps, flow, pressure.***

УДК 621/363.66 (477)

## **РОЗВИТОК ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПІДГОТОВКИ ЗЕРНА ДО ЗГОДОВУВАННЯ ТВАРИНАМ**

***Л.О. Сторожук, кандидат історичних наук***

*Проаналізовано історію розвитку технічних засобів підготовки зерна до згодовування тваринам. При визначенні періодів історії зернопереробної техніки враховувалась як самостійність розвитку науки і практики кормоприготування, так і його зв'язок з надбаннями природознавства та технічних наук.*

***Зернові корми, технологічні прийоми, годівля тварин, комбікорми, комплексна механізація, автоматизовані потокові лінії.***

Процес співіснування людини з одомашненою твариною перш за все накладав обов'язковість забезпечення життєдіяльності тварини, частково, а пізніше і повністю, відірваної від природного середовища. Найперше діяльність людини мала забезпечувати кормовими матеріалами і організовувати годівлю тварин. Накопичення запасу кормів, особливо для зимового періоду, було результатом важкої праці людини. Тому з давніх-давен принцип раціонального використання кормів, особливо це стосувалось найціннішої їх складової – зернових кормів, лежав в основі розвитку технічних засобів переробки.

Подальше розширення використання тварин обумовило поглиблений інтерес до підготовки зернових кормів, доцільнішого їх використання в поєднанні з іншими кормами, забезпечення кращого виходу тваринницької продукції і безумовно зменшення затрат праці. Життя диктувало на всіх етапах історичного розвитку відшукувати і вдосконалювати технологічні прийоми підготовки зернового корму до згодовування тваринам поряд з іншими видами кормів.

**Мета досліджень** – аналіз основних етапів розвитку створення технічних засобів і машин підготовки зерна до згодовування тваринам.

**Матеріали та методика досліджень.** Технологія виробництва – не застигла форма. Вона вимагає постійного вдосконалення і перетворень не лише з точки зору покращення дії корму на тварину і поліпшення виходу тваринницької продукції, а й проведення видозмін відповідно до зміни демографічних, соціальних і економічних факторів в житті суспільства, країни. Тому перед людиною постійно стоїть задача пошуку і реконструкції технології. Створення і використання нових технологій вимагає певних перетворень, змін в агропромисловому секторі, оскільки всі його ділянки тісно пов'язані між собою.

При будь-яких перетвореннях, особливо в такій надзвичайно складній системі, якою є сільське господарство, досить важливо діяти не наосліп, а опираючись на вже накопичений досвід. Виходячи з цього, є доцільним шляхом проведення аналізу минулих технологій виділити в них спільні риси, передумови, закономірності. Це необхідно як в загальному напрямку пізнання, вивчення, систематизації для поповнення впорядкованих знань певної галузі діяльності людини, так і для аналізу тієї частини досвіду минулого, яка могла б стати корисною і в наступні періоди розвитку людського суспільства.

Робота над цим включає на першому етапі виділення характерних періодів розвитку технологічних прийомів і застосованих засобів підготовки зерна до згодовування тваринам. Основою для визначення меж історичних періодів повинен бути суттєвий і найважливіший принцип напрямку людської діяльності, який впливає на всі зв'язки її функціонування. Разом з тим кожен період повинен обмежуватися за часом згідно з основними етапами розвитку об'єкта дослідження, які якісно відрізняються один від одного. Насамперед необхідно знайти об'єктивні критерії, що виражають внутрішню логіку і специфічні закономірності розвитку технічної науки, пов'язані із здійсненням важливих відкриттів, що дали практичний поштовх розвитку цього питання на новій основі, а також впливають з відмінних періодів розвитку суспільства і тому однаково пристосовані до всіх історичних етапів [1, 2, 4].

Конкретні відкриття в науці і техніці та їх практичне застосування у виробництві відображають спільність розвитку певного напрямку людської діяльності, віхи якої розмежовані у часі. Цей проміжок, залежно від рівня розвитку суспільства, загального стану технічної бази та виникнення потреб з цього питання, може мати короткий, перманентний період, а іноді триває досить довгий час. Тому необхідно визначитись, що в цьому поєднанні необхідно прийняти за відправну точку при визначенні етапів періодизації. А.А. Зворикін доводить, що початком нового етапу в історії розвитку техніки слід вважати не перше формулювання певної ідеї, а її практичне здійснення [2]. Цей підхід доповнює С.В. Шухардин, вважаючи, що новим етапом розвитку певної галузі науки і техніки є не лише практичне здійснення цих технічних рішень, а широке їх використання у виробництві, тобто той момент, коли у виробництві нова техніка уже займає велику питому вагу [6].

Крім застосування техніки у виробництві, на кожному етапі необхідно також детально вивчати рівень пізнання природи в цілому і зокрема вирощування сільськогосподарських тварин. При визначенні періодів історії зернопереробної техніки враховувалась як самостійність розвитку науки і практики кормоприготування, так і його обумовленість прогресом природознавства та технічних наук.

Переробка зерна для годівлі тварин і переробка зерна для харчових цілей населення в організаційному і технічному плані часто переплітались між собою. З одного боку, для подрібнення зерна тваринам часто використовувались ті ж пристрої, що і для одержання борошна чи крупи і різниця полягала лише в зміні режимів роботи. З іншого боку, тваринам згодовувались відходи при виготовленні борошна і круп. Тому технічні рішення, що закладались в обладнання для борошномельного чи круп'яного виробництва, особливо до останнього часу, часто повторювались за призначенням для переробки зерна тваринам. Враховуючи цю особливість дані щодо розвитку спільних за призначенням операцій переробки зерна приймалися для розгляду при розробці періодизації.

**Результати досліджень.** Беручи до уваги накопичений теоретичний і практичний досвід з указанного питання, історію технології та техніки переробки зерна умовно поділено на 4 періоди.

1. Ранній період розвитку історії підготовки зерна до згодовування тваринам охоплює найтриваліший період часу від IV ст. до н.е. по IX ст. н.е. і характеризується застосуванням ручного привода робочих органів [3]. В ранній період відбувалося формування загальної схеми зернопереробних пристроїв, хоч їх технічна досконалість була на елементарному рівні розвитку. Сама технологія годівлі тварин залишалась майже невивченою. Основним мірилом оцінки кожної технологічної операції були результати спостережень за ростом і розвитком тварин, які інколи створювали підстави для вдосконалення умов і засобів виробництва. Але оскільки обмін інформацією між людьми не був налагоджений, то часто певні надбання окремих виконавців не знаходили послідовників і забувались. Ранній період характерний використанням для годівлі не набору зерен різних культур, а одного виду зерна. Це знижувало продуктивність тварин, не створювало можливостей раціонального споживання тваринами заготовлених кормів.

2. Період широкого застосування природних джерел енергії та живої тяглової сили для привода обладнання з переробки зерна, що почався з X - XI ст. і набував розширення в міру освоєння нових видів енергії протягом XII - XV ст. тривав до другої половини XIX ст.

Використання тварин, а згодом енергії води і вітру для привода сільськогосподарських знарядь створило основу для розвитку більш високої цивілізації людства. Збільшення потужності привода знарядь і зменшення мускульної праці людей створило умови для різкого підвищення продуктивності машин і зменшення затрат праці в сільському господарстві. На зміну ручним пристроям для подрібнення зерна (жорновим млинам) та ножним (ступи) з появою нових видів привода були створені жорнові

млини підвищеної пропускної здатності. Принципово майже всі основні конструкції зернопереробних знарядь базувались на однаковому принципі і відрізнялися лише пристосованістю до того чи іншого виду привода.

Водяні млини встановлювались біля невеликих річок та ставків і приводились у дію енергією падаючого потоку води. Привод такого млина здійснювався від водяного колеса через ланцюгову передачу. Згодом водяне колесо почали замінювати на турбіну. За наявності достатньої кількості води від одного колеса чи турбіни приводилися в дію два, три або чотири жорнові постави [5].

Вітряні млини відрізнялися відносною дешевизною своїх конструкцій, але мали суттєвий недолік, що внаслідок непостійності швидкості вітру неможливо було притримуватися постійної частоти обертання жорнових поставів у межах оптимальної величини. В практиці знаходили використання три типи вітряних млинів: В першому вся споруда разом з крилами поверталася навколо вертикального дубового стовпа. Другий тип мав ту особливість, що поверталася не вся споруда, а лише її верхня частина, в якій знаходився вал з крилами. Третій тип млина мав звичайну складську споруду, на даху якої встановлювалося вітряне колесо, розташоване під невеликим кутом до горизонту [6].

3. Класичний період розвитку теорії і практики переробки зерна розпочався в кінці XIX ст. і був домінуючим до шістдесятих років XX ст. Цей період проходив на фоні бурхливого розвитку фундаментальних та прикладних наук, застосування наукового підходу до вивчення фізіології годівлі тварин і кормових матеріалів, використання механічного привода зернопереробних машин від двигунів, а також спеціалізацією галузей сільськогосподарського виробництва. Основними попередніми подіями цього періоду були такі:

- промислова революція XIX ст. і як результат її – розвиток розширеної фабрично-заводської промисловості, що стала базою для створення і випуску зернопереробних машин;

- для розв'язання практичних задач почали залучатися наукові знання і досвід суміжних галузей; формувалися принципи одержання і побудови наукового технічного знання, яке покликано безпосередньо обслуговувати виробництво та розроблялися методи розв'язання технологічних і технічних завдань;

- створення двигунів внутрішнього згоряння та електродвигунів з високими показниками експлуатаційної надійності; побудова розгалуженої сітки електричних мереж і електрифікація сільського господарства; створення системи технічного сервісу сільськогосподарських і зокрема тваринницьких машин;

- перехід на крупнотоварне тваринницьке виробництво.

Цей період характеризується бурхливим розвитком сільського господарства. Тваринництво стає сформованою і розвиненою галуззю наукових знань і практичного виробництва із своїм предметом, технічними засобами, методами ведення та оцінки, чітко окресленою ділянкою досліджень. У деяких напрямках тваринництво стає спеціалізованим виробниц-

твом, пов'язаним із рослинництвом і харчопереробними підприємствами. В цей період склалися досить стійкі форми взаємозв'язку природничих, фізичних і сільськогосподарських наук. Разом з тим, поряд із взаємозбагаченням цих наук проходить постійна диференціація окремих ланок аграрних наук. Кормоприготування, а згодом і підготовка концентрованих кормів до згодовування стає окремою науковою і виробничою ділянкою.

Поряд з жорновими млинами, що руйнують зерно за принципом ротирання, застосовуються в машинах нові фізичні методи руйнування: зрізу рифленими вальцями, плющення до стану пластівців, розбивання молотковими робочими органами. Останні машини – молоткові дробарки набувають найбільшого поширення завдяки своїй універсальності, малій металомісткості, високій енергонасиченості і надійності в роботі. Створюється ґрунтова база наукових даних щодо закономірностей процесів подрібнення зерна, дозування компонентів і їх змішування при підготовці кормів до згодовування.

4. Період появи та утвердження нових технологій підготовки зерна і запровадження технологій застосування зерна в складі комбікормових сумішей починається з шістдесятих років ХХ ст. і триває дотепер.

У 50-60-ті рр. ХХ ст. було завершено основоположні наукові дослідження з годівлі сільськогосподарських тварин. Господарства одержали практичні рекомендації щодо основних принципів науково обґрунтованого використання кормів, зокрема зернових. Згідно із цими розробками використання окремих видів зерна приводить до значної втрати продуктів через незбалансованість кормових раціонів. Був взятий курс на використання зернових кормів в основному складі збалансованих комбікормів, або повнораціонних кормових сумішок. До комбікормів, крім різних видів зернових матеріалів, вводилися білкові корми, мінеральні добавки, домішки.

Щодо фізичного стану комбікормів, то разом з комбікормом у розси́пному вигляді почали випускати гранульовані комбікорми, які більш відповідали умовам транспортування, зберігання і видачі тваринам.

Поруч з механічними процесами підготовки зернових кормів до згодовування все більшого розповсюдження набувають нові комплексні технології, що також включають теплові методи обробки, біологічні, обробку тиском, за допомогою електротехнологій.

Цей період характеризується також переходом на виробництво сільськогосподарських машин, що виконують складні технологічні процеси; утвердженням комплексної механізації тваринницького виробництва; виникненням автоматизованих поточкових технологічних ліній і виробництв в цілому. Досягнення в галузі інформації та обчислювальної техніки дозволяють замінити машиною людину в найрізноманітніших функціях, зокрема логічних. Комп'ютерна техніка, що використовується при підготовці кормів до згодовування і роздачі їх тваринам, здатна запам'ятовувати, відбирати і класифікувати дані по вхідній сировині, умовах роботи машин, їх технічного стану, змін властивостей кормового матеріалу в процесі переробки, а також в автоматизованому режимі управляти параметрами технологічних процесів, оптимізувати перебіг обробки, контролювати задані якісні показники протягом всього технологічно-

го процесу одержання корму.

При створенні засобів механізації використовуються методи моделювання і комп'ютерної графіки, машинного підбору параметрів технічних рішень окремих вузлів обладнання, проведення контролю і експертизи технічної документації і зразків переробних машин. Триває розвиток заводських технологій в машинобудуванні, які базуються на нових більш точних і ресурсозберігаючих принципах створення машин.

### Висновки

Виділені чотири періоди історії розвитку засобів механізації підготовки зерна до згодовування тваринам у різних регіонах, по різних розмірах господарств і залежно від економічного стану спільності людей не мали явно окреслених меж. Але загальна тенденція кількісного переходу між ними досить чітко спостерігається.

### Список літератури

1. Арцыбашев Д. Д. Орудия и машины сельского хозяйства / Д. Д. Арцыбашев. – Петроград: Тип. М. Меркушева, 1915. – С. 319–342.
2. Зворыкин А. А. О некоторых вопросах периодизации истории естествознания и техники / А.А. Зворыкин // История техники. – 1957. – Вып. 4. – С. 153–168.
3. Зеест И. Б. Киммерийская мукомольная мастерская и зерновое хозяйство Боспора / И. Б. Зеест. – М.: КСИИМК, , 1950. – Вып. XXXIII, С. 96 – 100.
4. Иванов Б.И. Становление и развитие технических наук / Б. И. Иванов, В. В. Чешев. – Л.: Наука, 1977. – 263 с.
5. Полная энциклопедия русского сельского хозяйства / [под ред. А.Ф. Девриена]. – Т. 1. – 1900. – С. 1238–1241.
6. Шухардин С. В. Основы истории техники: Опыт разработки теоретических и методологических проблем / С. В. Шухардин. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 278 с.

*Проанализирована история развития технических средств подготовки зерна для кормления животных. При определении периодов истории зерноперерабатывающей техники рассматривалось как самостоятельное развитие науки и практики кормоприготовления, так и его связь с прогрессом природоведения и технических наук.*

***Зерновые корма, технологические приемы, кормление животных, комбикорма, комплексная механизация, автоматизированные потоковые линии.***

*The history of the development of technical means of preparing grain for feeding animals. In determining the periods of history Grain processing machinery accounted for as independence of science and practice of feed preparation and its called, connection with the achievements of natural science and engineering.*

***Grain feed, processing methods, feeding animals, feed, integrated mechanization, automated production lines.***