

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СОРБЦИОННЫХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРАХ

*Б.Х. Драганов, В.В. Козырский, доктора технических наук
e-mail: epafort1@mail.ru*

Приведена математическая модель гидродинамики гетерогенных сред в эйлеровых переменных в условиях цилиндрической симметрии. Выполнен анализ исследований течения многокомпонентной смеси, один из компонентов которой конденсируется. Рассмотрены диффузионные процессы в сорбционных термотрансформаторах.

Ключевые слова: математическое моделирование, гетерогенная среда, дискретная среда, термодинамическое равновесие, химический потенциал Гиббса, постоянная Больцмана, макроскопическая диффузия, пористая среда, энтропия

В основу исследования гидродинамики многофазных сред положены математические модели. Осредненные уравнения движения для газо- и парожидкостных смесей с учетом фазовых переходов приведены в работе [14]. Более строгий анализ основных осредненных уравнений для отдельных компонентов выполнен в [17], теплообмен сплошной среды рассматривается в рамках эйлерова континуума, а закономерности движения дисперсной фазы в потоке исследуются в виде лагранжевого представления. Турбулентные пульсации скорости дисперсных частиц рекомендуется описывать методом стохастического моделирования [12].

Цель исследований – разработка математической модели фазовых процессов в сорбционных термотрансформаторах.

Материалы и методика исследований. При разработке математической модели гетерофазной среды возникает задача осреднения параметров по некоторому интервалу времени и области пространства. И.В. Деревич [4] предложил метод общего пространственно-временного осреднения, зависящего от интервала или формы и значений объема области.

В работе [8] исходят из условия, что расположение в пространстве, форма и размеры элементов дискретной фазы (капель, пузырьков, частиц) – случайные величины. Суть анализа заключается в том, что вводится функция (φ_{z_3}, τ) , которая указывает на вероятность того, что в окрестностях данной точки пространства в момент времени τ находится i -я фаза, или что данная точка пространства принадлежит множеству точек i -й фазы в данной точке пространства.

В уравнение движения вводится функция k -взаимодействия между компонентами потока [13]. Аналогичный метод анализа применительно к n компонентам, когда один из компонентов участвует в химических реакциях, рассматривался в [11].

Среди работ, посвященных гидродинамике многофазных сред, когда один из компонентов может изменять свое фазовое состояние, следует выделить [5]. Если инерционные эффекты относительно движения фаз незначительны, то для описания движения многофазных сред обращаются к диффузному приближению.

Результаты исследований. Уравнение движения и состояния для всей среды в целом, задающее напряжение и внутреннюю энергию, записываются в предположении локально термодинамического равновесия, когда в каждой точке можно определить температуру среды T . При этом принимается, что тензор скоростей деформируется, и определяется полем бароцентрических скоростей смесей v .

Считается, что влияние состава смеси (ρ_i , $i = 1, 2, \dots, N$, где ρ – плотность) непосредственно проявляется через физико-химические параметры, входящие в уравнение движения и состояния (теплоемкость, коэффициент вязкости, модуль упругости и т.д.).

После общей постановки задачи запишем систему уравнений одномерного движения двухфазных сред в эйлеровых переменных в условиях цилиндрической симметрии:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho_1 v}{\partial x} + \frac{\rho_1 v}{x} = I_{21}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\partial \rho_2 v}{\partial x} + \frac{\rho_2 v}{x} = -I_{21}; \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho v \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial \sigma^r}{\partial x} + \frac{\sigma^r - \sigma^\ominus}{x}; \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u_1}{\partial t} + v \frac{\partial u_1}{\partial x} \right) + \rho \left(\frac{\partial u_2}{\partial t} + v \frac{\partial u_2}{\partial x} \right) = \sigma^r \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\sigma^\ominus v}{x} - \frac{\partial q}{\partial x} - \frac{q}{x} + I_{12}(u_1 - u_2). \quad (4)$$

Эти уравнения должны быть дополнены уравнениями состояния для внутренних энергий, тензоров напряжений, вектора потока тепла. Кроме того, нужно задать кинетику интенсивности фазовых переходов [15].

Принимая гипотезу локального равновесия в пределах фазы и допуская, что фазы представляют собой двухпараметрическую среду, приходим к выводу [3], что термодинамические функции каждой фазы зависят только от термодинамических параметров состояния (истинной плотности ρ_i^{uc} и температуры T):

$$u_i = u_i(\rho_i^{uc}, T_i); \rho_i = \rho_i(\rho_i^{uc}, T_i); s_i = s_i(\rho_i^{uc}, T_i). \quad (5)$$

При этом справедливо соотношение Гиббса:

$$T_i \frac{d_i s_i}{dt} = \frac{d_i u_i}{dt} + \rho_i \frac{d_i}{dt} + \left(\frac{1}{\rho_i^{uc}} \right). \quad (6)$$

В представленных уравнениях приняты обозначения: ρ_1, ρ_2 – приведенные плотности фаз; t – время; x – координата; u – скорость; I_{ij} – интенсивность фазовых переходов ($I_{12} = I_{21}$); u_1, u_2 – внутренняя энергия; ρ – плотность смеси; d – удельный поток тепла; $\sigma^r, \sigma^\ominus$ – тензор напряжений соответственно в радиальном и окружном направлениях; T – температура; p_i – давление; s_i – энтропия.

Внутреннюю энергию смеси можно принять аддитивной по внутренним энергиям фаз.

Одним из важных разделов динамики двухфазных сред в термотрансформаторе является кинетика конденсации. Конденсация может иметь место в том случае, когда парциальное давление пара одного из компонентов смеси в процессе расширения становится больше его давления насыщения.

Теоретический анализ течений смеси с конденсацией, основанный на концепции образования зародышей (нуклеации), был предложен в [6, 18]. Теоретические принципы этих работ, хотя и не охватывают всю совокупность процессов, происходящих при конденсации, согласуются с экспериментом [16].

В работе [22] предложен упрощенный аналитический метод оценки процесса завершения конденсации, и при расчете процесса нуклеации имело место хорошее соответствие экспериментальных и расчетных данных. Но для быстро движущейся среды данные измерений в состоянии покоя неприменимы при оценке поверхностного напряжения, поэтому расчетный метод имеет ограниченную область приложения.

При более глубоком подходе анализируется течение смеси из n компонентов, один из которых может конденсироваться. В нее входит кинетическое соотношение для функции распределения капель по размерам; определены значения коэффициентов конденсации a_k и термической аккомодации β , предложенные для процессов конденсации в [1].

Составной частью процесса конденсации является нуклеация.

Для условий стационарной нуклеации М. Фольмер [2] определяет скорость образования зародышей I_v :

$$I_v' = bN_1 \frac{3kT}{\sigma} B \exp(-B), \quad (7)$$

где N_1 – число молекул пара в единице объема; b – количество молекул, конденсирующихся при столкновении с единицей поверхности в единицу времени; k – постоянная Больцмана; σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости (независающий от радиуса r капли).

На основе кинетической теории значение b определяется по формуле:

$$b = \frac{a_k p}{\sqrt{2\pi m_1 kT}}, \quad (8)$$

где a_k – коэффициент конденсации, равный отношению числа конденсирующихся молекул пара к числу молекул, падающих на поверхность среды; m_1 – масса молекулы.

Безразмерный множитель в уравнении (7) равен:

$$B = \frac{\sigma}{kT} \left(\frac{4\pi V^2}{3} \right)^{1/3} n_{кр}^{2/3}, \quad (9)$$

где V – объем, занимаемый одной молекулой жидкости; $n_{кр}$ – число молекул в капле критического размера.

Заметим, что при заданных внешних условиях капли докритического размера находятся в среде ненасыщенного пара и испаряются, а капли сверхкритического размера ($r > r_{кр}$) – в среде пересыщенного пара и, следовательно, растут.

Более точное выражение для скорости образования зародышей и конденсации получили Р. Беккер и В. Деринг. Их расчетная формула отличается от формулы М. Фольмера предэкспоненциальным множителем:

$$I_v'' = \frac{S_1 \sigma}{3kT n_{кр}} \frac{1}{\sqrt{3\pi B}} I_v', \quad (10)$$

где S – площадь поверхности пара.

В [10, 21] формула Беккера - Деринга уточнена:

$$I_v'' = n_{кр}^{2/3} I_v'. \quad (11)$$

Таким образом, формула для расчета нуклеации, предложенная Френкелем и Зельдовичем, отличается от предложенной Беккером - Дерингом множителем $n_{кр}^{2/3}$.

Одно из характерных явлений, имеющих место в сорбционных термотрансформаторах, – это диффузия агента.

Обозначим локальный коэффициент диффузии через $D(x)$, а адсорбционный потенциал как функцию координаты через $U(x)$.

Тогда $F = -dU/dx$ – сила, действующая на молекулу, и v – скорость ее установившегося движения.

Поток диффузии j будет равен:

$$j = -D(x) \frac{dC}{dx} + v(x)C, \quad (12)$$

где v – скорость; C – концентрация молекул:

$$C = Z \exp \int \frac{v}{D} dx = Z \gamma, \quad (13)$$

где γ – локальный коэффициент сорбции:

$$\gamma = \exp(-U/kT), \quad (14)$$

где k – показатель адиабаты; T – температура, К.

Получаем обобщенное уравнение диффузии:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} v C, \quad (15)$$

или, если введем Z ,

$$\gamma \frac{\partial Z}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} D \gamma \frac{\partial Z}{\partial x}. \quad (16)$$

В случае трех измерений получим

$$\gamma \frac{\partial Z}{\partial \tau} = \text{div}(D \gamma \text{grad} Z). \quad (17)$$

При равновесии отсюда следует:

$$Z = \text{const.}$$

При этом Z является аналогом температуры, C_p – теплоемкости и D_{cp} – коэффициента теплопроводности.

Коэффициент макроскопической диффузии для нестационарного процесса, оказывается равным $D_1(\overline{1/\gamma})$, где чертой сверху обозначено усреднение по координате x .

Под действием внешних сил, к примеру ветра, диффузия происходит в среде, представляющей собой турбулентный поток. В случае установившегося турбулентного движения и стационарных внешних условий уравнение диффузии в потоке имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + u_x \frac{\partial C}{\partial x} + u_y \frac{\partial C}{\partial y} + u_z \frac{\partial C}{\partial z} = f(x, y, z, \tau) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial C}{\partial z} \right). \quad (18)$$

В практических заданиях диффузии можно рассматривать в рамках модели несжимаемой жидкости. В таком случае уравнение диффузии записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial \tau} + \langle u_x \rangle \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x} + \langle u_y \rangle \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial y} + \langle u_z \rangle \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial z} = \\ = f(x, y, z, \tau) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x} - \langle u_x C \rangle \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial y} - \langle u_y C \rangle \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial z} - \langle u_z C \rangle \right), \end{aligned} \quad (19)$$

и является уравнением диффузии в турбулентном потоке несжимаемой среды.

Осредненные значения произведений пульсационных составляющих проекций скорости и концентрации согласно гипотезе Фика-Буссинеска считают пропорциональными градиенту осредненной концентрации [4]:

$$\langle u'_\alpha C' \rangle = -D_B \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial \alpha}, \quad (20)$$

где α – координата, на которую берется проекция пульсационной составляющей скорости; D_B – величина, называемая коэффициентом турбулентной (вихревой) диффузии и имеющая размерность коэффициента молекулярной диффузии.

Общие закономерности исследуемых явлений можно получить методом математического моделирования. Для описания уравнения

диффузии рассмотрим небольшую ячейку размером δx в точке x . Число молей в такой ячейке равно $(n_k(x, t)\delta x)$, скорость изменения числа молей $\partial(n_k(x, t)\delta x)/\partial t$.

Это изменение обусловлено суммарным потоком, т.е. разностью между потоком частиц в ячейку и потоком частиц из ячейки.

Суммарный поток в ячейку размером δx равен

$$J_{Nk}(x) - J_{Nk}(x + \delta x) = J_{Nk}(x) - \left(J_{Nk}(x) + \frac{\partial J_{Nk}}{\partial x} \delta x \right) = - \frac{\partial J_{Nk}}{\partial x} \delta x. \quad (21)$$

Суммарный поток равен скорости изменения числа молей:

$$\frac{\partial n_k(x, t)}{\partial t} = - \frac{\partial J_{Nk}}{\partial x}. \quad (22)$$

Закон Фика позволяет записать (22) как дифференциальное уравнение функции $n_k(x, t)$:

$$\frac{\partial n_k(x, t)}{\partial t} = D_k \frac{\partial^2 n_k(x, t)}{\partial x^2}. \quad (23)$$

Это уравнение в частных производных называется уравнением диффузии компонента k . Оно выполняется для произвольной гомогенной системы. Диффузия уничтожает различия в концентрации во всей системе. Однако следует иметь в виду, что термодинамическая сила, вообще говоря, стремится выровнять химический потенциал, а не концентрацию.

Учитывая, что характеристикой степени устойчивости и неустойчивости систем является энтропия, рассмотрим вопрос производства энтропии.

В линейном режиме стационарные состояния – такие состояния, в которых полное производство энтропии $P = \int_V \sigma dV$ достигает минимума. Это требование также обеспечивает устойчивость стационарного состояния. Столь общий принцип определения состояния системы отсутствует в далеком от равновесия нелинейном режиме. Состояния, далекие от равновесия, могут быть неустойчивыми и переходить к новым организованным состояниям. Далее будут установлены термодинамические условия, при которых это может происходить. Начнем с некоторых общих свойств полного производства энтропии P . Прежде всего, рассмотрим эволюцию δP , обусловленную малыми изменениями в силах δF_k и потоках δJ_k .

Пусть P – производство энтропии в неравновесном стационарном состоянии. Так, как $P = \int_V \sigma dV = \int_V \sum_k F_k J_k dV$, изменения P из-за малых изменений dF_k и dJ_k можно записать как

$$\frac{dP}{dt} = \int_V \left(\frac{\delta \sigma}{dt} \right) dV = \int_V \left(\sum_k \frac{dF_k}{dt} J_k \right) dV + \int_V \left(\sum_k F_k \frac{dJ_k}{dt} \right) dV \equiv \frac{d_F P}{dt} + \frac{d_J P}{dt} \quad (24)$$

где $\frac{d_F P}{dt}$ – изменения, вызванные силами F_k , а $\frac{d_J P}{dt}$ – изменения под действием потоков J_k . Теперь могут быть установлены два общих свойства [12, 14, 17]:

1) в линейном режиме

$$\frac{d_F P}{dt} = \frac{d_J P}{dt}, \quad (25)$$

2) для независящих от времени граничных условий, даже вне линейного режима

$$\frac{d_F P}{dt} \leq 0, \quad (26)$$

(в стационарном состоянии $\frac{d_F P}{dt} = 0$).

Величина $d_F P$ не является дифференциалом функции состояния, и этим она отличается от термодинамических потенциалов, например свободной энергии Гиббса G [21]. Следовательно, тот факт, что $d_F P$ может только уменьшаться, не позволяет делать никаких выводов о том, как будет развиваться процесс.

Первое из выше сформулированных свойств, следует из линейных соотношений $J_k = \sum_i L_{ki} F_i$ и соотношений взаимности Онсагера $L_{ki} = L_{ik}$ [7, 9].

Приведем отношение Эйнштейна, дающего связь между скоростью движения и коэффициентом диффузии.

Рассмотрим диффузионные потоки. Для однородной системы

$$(\omega_1 - \omega_2) = \frac{L}{TC_1} P_1 M_1, \quad (27)$$

где ω_1, ω_2 – скорости движения потоков; L – феноменологический коэффициент; T – температура, К; C_1 – концентрация одного компонента; P_1 – производство энтропии одного компонента; M_1 – масса одного компонента.

Коэффициент пропорциональности между относительной скоростью $\omega_1 - \omega_2$ и силой $P_1 M_1$ (на 1 моль)

$$P_1 = \frac{L}{TC_1} \quad (28)$$

называется подвижностью компонента l .

Система на которую не действует внешние силы записывается так [10].

$$C_1(\omega_1 - \omega_2) = \frac{L}{T} \frac{RT}{C_1} \frac{\partial C_1}{\partial x}. \quad (29)$$

Коэффициент пропорциональности между потоком диффузии $C_1(\omega_1 - \omega_2)$ и градиентом концентрации по определению является коэффициентом диффузии:

$$D = \frac{L}{T} \frac{RT}{C_1}. \quad (30)$$

Сравнивая уравнения (28) и (30), получаем формулу Эйнштейна, связывающую подвижность с коэффициентом диффузии:

$$D = RTB. \quad (31)$$

Это соотношение имеет совершенно общий характер и получается без каких-либо специальных кинетических допущений.

Основной характеристикой сорбционных процессов является значение производства энтропии. Определим производство энтропии в пористых средах.

Прежде всего, отметим, что

$$\sum_k dF_k J_k = \sum_k dF_k J_{ki} F_i = \sum_k (dF_k J_{ik}) F_i = \sum_i dJ_i F_i \quad (32)$$

Используя этот результат в определениях $d_F P$ и $d_J P$ с очевидностью получаем, что

$$\frac{d_F P}{dt} = \int \left(\sum_k \frac{dF_k}{dt} J_k \right) dV = \int \left(\sum_k F_k \frac{dJ_k}{dt} \right) dV = \frac{d_J P}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dP}{dt}. \quad (33)$$

Общее свойство (34), примененное к (36), дает результат:

$$\frac{dP}{dt} = 2 \frac{d_F P}{dt} \leq 0 \quad - \text{ в линейном режиме} \quad (34)$$

Соотношение (34) еще раз показывает, что отклонение полного производства энтропии P от стационарного значения, в соответствии с принципом минимума производства энтропии, монотонно уменьшается.

Неравенство $d_F P \leq 0$ важный критерий эволюции.

Если все флуктуации $\delta_F P > 0$, то стационарное состояние устойчиво. В этом случае более целесообразно использовать теорию устойчивости Ляпунова.

Всякий раз, когда флуктуация выводит систему из равновесного состояния, необратимые процессы возвращают ее в равновесное состояние. Тенденция системы достигать экстремума термодинамического потенциала и оставаться в этом состоянии делает систему устойчивой. Именно так устойчивость равновесного состояния системы связана с существованием термодинамических потенциалов.

В отличие от равновесных систем, которые переходят в состояние с минимальной свободной энергией, неравновесные системы могут развиваться непредсказуемо: их состояние не всегда однозначно определяется макроскопическими уравнениями. Это происходит от того,

что при одном и том же наборе условий неравновесная система может переходить к разным состояниям. Причиной тому могут быть флуктуации, малые неоднородности, дефекты или другие случайные факторы. К какому состоянию перейдет конкретная система, в общем случае предсказать невозможно. Новые состояния, достигаемые таким образом, являются часто «упорядоченными состояниями», которые обладают пространственно-временной организацией.

В неравновесных системах результатом диффузии могут быть колебания концентраций и пространственных структур; в закрытой же системе те же диссипативные процессы размывают неоднородности и приводят систему к однородному состоянию [10, 21].

Проблема производства энтропии в энергопреобразующих системах анализировалась А. Бежаном [21, 22]. Полученные результаты позволили решить вопрос о минимизации в теплообменных процессах, а также оптимизации экономических показателей [25].

Указанный метод широко используется для анализа процессов тепломассообмена в пористых средах [23, 24].

Исходная система уравнений для осесимметричного и стационарного случая записывается так:

- состояния:

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho u) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r}(r^n \rho v) = 0, \quad (35)$$

- движения в направлении z :

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho u u) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r}(r^n \rho v u) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu_e \frac{\partial u}{\partial z}\right) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r}\left(r^n \mu_e \frac{\partial u}{\partial r}\right) - f \frac{\mu_e u}{K} - f \frac{\rho F}{\sqrt{K}} |u| u, \quad (36)$$

- движения в направлении r :

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho u v) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r}(r^n \rho v v) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu_e \frac{\partial v}{\partial z}\right) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r}\left(r^n \mu_e \frac{\partial v}{\partial r}\right) - f \frac{\mu_e v}{K} - f \frac{\rho F}{\sqrt{K}} |u| v - \frac{\mu_e v}{r^2} n, \quad (37)$$

где z и r – координаты (r – радиус); u , v – компоненты скорости; ρ – плотность; f – параметры, определяющие степень пористости исследуемого тела; μ_e – эффективная вязкость; K – площадь, m^2 ; F – показатель интенсивности; $|u| = (u^2 + v^2)^{0.5}$, м/с.

Уравнения энергии, если пренебречь эффектом диссипации, в силу вязкости, а также теплообменом имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial z}(\rho_e c_e u T) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r}(\rho_e c_e r^n v T) = \frac{\partial}{\partial z}\left(k_e \frac{\partial T}{\partial z}\right) + \frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r}\left(r^n k_e \frac{\partial T}{\partial r}\right), \quad (38)$$

где k_e , c_e и ρ_e – соответственно эффективный коэффициент теплопроводности, эффективный коэффициент теплообмена и эффективная плотность.

В безразмерной форме анализируемая система уравнений записывается следующим образом:

- в направлении Z :

$$\frac{\partial}{\partial Z}(V U) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R}(R^n V U) = -\frac{\partial P}{\partial Z} + \frac{1}{R_e} \left[\frac{\partial}{\partial Z} \left(\frac{\partial U}{\partial Z} \right) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^n \frac{\partial U}{\partial R} \right) \right] - f \frac{U}{D_a R_e}; \quad (39)$$

- в направлении R :

$$\frac{\partial}{\partial Z}(UV) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R}(R^n VU) = -\frac{\partial P}{\partial R} + \frac{1}{R_e} \left[\frac{\partial}{\partial Z} \left(\frac{\partial V}{\partial Z} \right) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^n \frac{\partial V}{\partial R} \right) \right] - f \frac{V}{D_a R_e} - f \frac{V}{R_e R^2} n; \quad (40)$$

- уравнения энергии:

$$\frac{\partial}{\partial Z}(U\Theta) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R}(R^n V\Theta) = \frac{1}{P_e} \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial Z^2} \right) + \frac{1}{P_e R^n} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^n \frac{\partial \Theta}{\partial R} \right). \quad (41)$$

Диссипация тепловой энергии для осимметричного движения представляется так:

$$\Phi = 2 \left[\left(\frac{\partial v}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{v}{r} n \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right] + \left[\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial r} \right]^2. \quad (42)$$

Генерация энтропии в безразмерной форме равна:

$$E_g = \left(\frac{\partial \Theta}{\partial Z} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Theta}{\partial R} \right)^2 + (1-f) Br_m \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial V}{\partial R} \right)^2 + \left(\frac{V}{R} n \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial Z} \right)^2 \right] + \left[\frac{\partial V}{\partial Z} + \frac{\partial U}{\partial R} \right]^2 \right\} + f \frac{Br_m}{D_a} [\bar{V}]^2, \quad (43)$$

В уравнениях (39– 43) приняты обозначения:

$$Z = z/z_{in}; U = u/u_{in}; V = v/v_{in}; R = r/r_{in}; \Theta = (T - T_{in})/T_w - T_{in}; P = p/p_{in};$$

$\Theta = (T - T_{in})/T_w - T_{in}; P = p/p_{in}; D_a = k/r_0$ – число Дарси; $R_e = \rho \cdot u_{in} \cdot r / \mu$ – число Рейнольдса; Br_m – преобразованное число Брикмана.

Особый интерес представляют графические зависимости величины генерации энтропии от относительного радиуса пор при различных значениях числа Дарси.

Выводы

Приведенный метод анализа сорбционных процессов может быть использован при исследовании явлений, имеющих место в различных видах тепловых насосов (компрессионных, абсорбционных, и их возможных комбинаций), в сорбционных аккумуляторах, в пористых средах. Энтропия служит мерой эффективности в энергетическом отношении исследуемых явлений. Степень производства энтропии существенно зависит от параметра $\xi = z/r_0$, где r_0 – исходный радиус пористости. С увеличением значения ξ генерация энтропии уменьшается асимптотически, приближаясь к нулевому значению.

Список литературы

1. Баханов В.П. Замкнутая система уравнений двухфазной газодинамики при наличии химических реакций и квазистационарной гомогенной конденсации / В.П. Баханов, М.В. Буйков // Тр. УкрНИГМИ. – 1971. – Вып. 99. – С. 21 – 24.
2. Баханов В.П. Об учете трансляционных и вращательных степеней свободы при вычислении работы образования зародыша в теории нуклеации / В.П. Баханов, М.В. Буйков // Укр. физ. журн. – 1969. – Т. 13, Вып. 5. – С. 761 – 766.
3. Дейч М.Е. Газодинамика двухфазных сред / М.Е. Дейч, Г.А. Филиппов. – [2-е изд.]. – М.: Энергоиздат, 1981. – 472 с.

4. Деревич И.В. Стохастическое описание и расчет гидродинамики массопереноса дисперсных турбулентных потоков в каналах / И.В. Деревич // Материалы III междунар. Минского форума «Тепломассообмен. ММФ-96». – 1996. – Т.5. – С. 134 – 141.
5. Драганов Б.Х. К вопросу движения многокомпонентной среды / Б.Х. Драганов // Гидроаэродинамика. – 1965. – Вып. 2. – С. 2 – 6.
6. Зельдович Я.Б. К теории образования новой фазы. Кавитация / Я.Б. Зельдович // Журн. эксперим. и теорет. физики. – 1942. – № 12. – Вып. 11 – 12. – С. 525 – 538.
7. Ляпунов А.М. Собр. соч. Т.2 / А.М. Ляпунов. – М.: Физматгиз, 1956. – 263 с.
8. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред / Р.И. Нигматулин. – М.: Наука, 1987. – 464 с.
9. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов / И. Пригожин. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1960. – 127 с.
10. Пригожин И. Современная термодинамика от тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин, Д. Канделуди. – М.: Мир, 2002. – 461 с.
11. Рахматулин Р.И. Основы газодинамики взаимопроникающих движений сжимающих сред // ПМИ. – 1956. – Т. 20. №2. – С. 184 – 195.
12. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1,2 / Л.И. Седов. – М., 1983. – 568 с.
13. Селезнев Л.И. Распределение двухфазных флуктуаций в двухкомпонентной стабильной системе // Изв. АН СССР. Сер. «Энергетика и транспорт». – 1978. – №6. – С. 136 – 140.
14. Телешов С.Т. Вопросы гидродинамики двухфазных сред / С.Т. Телешов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Мат., мех., астр., физ., хим. – 1958. – Вып.2. – С. 127 – 132.
15. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения / Г. Уоллис. – М.: Мир, 1972. – 440 с.
16. Федер Дж. Гомогенное образование зародышей при конденсации / Дж. Федер // Гетерогенное горение – М., 1967. – С. 469 – 476.
17. Франкль Ф.И. Избранные труды по газовой динамике / Ф.И. Франкль. – М.: Наука, 1973. – 712 с.
18. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей / Я.И. Френкель. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1945. – 458 с.
19. Bejan A. Entropy Generation through Heat and Fluid Flow, John Wiley and Sons, New York. – 1982.
20. Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M. Thermal Design and Optimization, John Wiley and Sons, New York. – 1996.
21. Gibbs I.W. Elementary Principles in Station Mechanics. – New-York Yale University Press.
22. Gyarmathy G., Meyer H. Versuche über den Einfluss der Entspannungsgeschwindigkeit auf die Nebelbildung in übersättigtem Wasserdampf. – VDI-Forschungsheft, 1965. – № 508. – P. 5 – 30.
23. Mohamad A.A. Heat transfer enhancements in heat exchangers fitted with porous media Part 1: constant wall temperature. Int. J. Therm. Sci. 42 (2003). – P. 385 – 395.
24. Morosuk T. Porous media theory for fouling problems in heat and mass transfer in porous media, in: Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Porous Media, 9 – 20 June 2003, Neptun, Romania, 2003. – P. 406 – 416.

25. Olivera De, Schwarzer B., Le Goff P., Tondcur D. Comparison of the entropic, exergetic and economic optima of a heat exchanger, in: D. Kouremenos, G. Tsatsaronis, C. Rakopoulos (Eds.) Proceedings of International Conference ATHENS'91 Analysis of thermal and Energy Systems, 1991. – P. 105 – 116.

МОДЕЛЮВАННЯ ФАЗОВИХ ПРОЦЕСІВ У СОРБЦІЙНИХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРАХ

Б.Х. Драганов, В.В. Козирський

Наведено математичну модель гідродинаміки гетерогенних середовищ в ейлерових змінних в умовах циліндричної симетрії. Виконано аналіз досліджень течії багатокомпонентної суміші, один із компонентів якої конденсується. Розглянуто дифузійні процеси в сорбційних термотрансформаторах.

Ключові слова: математичне моделювання, гетерогенне середовище, дискретне середовище, термодинамічна рівновага, хімічний потенціал Гіббса, стала Больцмана, макроскопічна дифузія, пористе середовище, ентропія

MODELLING OF PROCESSES IN THE SORPTION PHASE THERMOTRANSFORMERS

B. Draganov, V. Kozyrskiy

The mathematical model of fluid dynamics in heterogeneous environments Euler variables in a cylindrical symmetry. The analysis studies the flow of a multicomponent mixture, one component of which is condensed. We consider the diffusion processes in the sorption thermotransformers.

Keywords: mathematical modeling, heterogeneous environment, a discrete medium, thermodynamic equilibrium, the chemical potential of Gibbs, Boltzmann constant, macroscopic diffusion, porous medium, entropy

UDC621.314.54

SMART GRID AS AN INNOVATION BASE OF DEVELOPMENT OF ELECTRICAL ENERGY

V. Kozyrskiy, V. Kaplun, Doctors of technical Sciences
e-mail: epafort1@mail.ru

The work is devoted to the strategy of future energy development, implementation of Smart Grid technologies in heavy growth of distributed generation.

© V. Kozyrskiy, V. Kaplun, 2015

SMART GRID КАК ИННОВАЦИОННАЯ БАЗА РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В.В. Козырский, В.В. Каплун

Рассмотрены вопросы, касающиеся будущего развития энергетики, внедрению технологий Smart Grid в связи с ростом распределенной генерации.

Ключевые слова: Smart Grid, распределенная генерация, развитие энергетики, GRID-технологии

УДК 621.314.54

АНАЛІЗ ПУЛЬСАЦІЙ СТРУМУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО КАСКАДНОГО ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ

В. О. Бржезицький, доктор технічних наук

*О. М. Десятов, аспірант**

Я. О. Гаран, інженер

А. А. Бабічева, студентка

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

e-mail: brzhezitsky@mail.ru

Проведено дослідження робочих режимів високовольтного каскадного генератора з нелінійним навантаженням за допомогою аналітичного методу. Для каскадного високовольтного джерела постійного струму здійснено аналітичне дослідження розподілення його напруги у часі та визначено її нелінійну пульсацію. Проведено дослідження залежності амплітуди пульсацій струму та напруги установки.

Ключові слова: каскадне джерело високої напруги, аналітичний метод, амплітуда пульсацій струму, нелінійне навантаження

Каскадні генератори – одні з найрозповсюдженіших джерел високої і надвисокої постійної напруги. Здебільшого вони використовуються для електроживлення різної електрофізичної апаратури, а особливо для високовольтних прискорювачів різних типів. Каскадний генератор складається, зазвичай, з 4–10 каскадів. Спеціальні схеми включення з використанням випрямлячів і конденсаторів забезпечують збільшення напруги в кожному каскаді (порівняно з попереднім) на величину подвоєної амплітудної напруги високовольтного трансформатора, підключеного до першого каскаду.

Каскадні генератори широко застосовуються в техніці високих напруг, при випробуваннях високовольтного обладнання, а також у прискорювальній техніці для отримання іонів з енергією до 3–4 МеВ і вище [12].

Вперше каскадний генератор був побудований в 1932 Дж. Кокрофтом і Е. Уолтоном, які з його допомогою прискорювали іони до високих енергій [12].

Також постійну високу напругу одержують за допомогою різноманітних схем випрямлення змінної напруги, основними елементами яких є високовольтний трансформатор, конденсаторно-діодна група, фільтр вищих гармонік і струмообмежувальні резистори [11].

В останній час високовольтні каскадні генератори знаходять застосування в технологіях обробки сільгосппродукції, харчовій промисловості, в промислових електрофільтрах вугільних електростанцій, для екологічного очищення відходів тощо [3–5, 8–10].

Характерною ознакою каскадних генераторів є наявність пульсацій напруги на виході установки. В ряді публікацій проведено дослідження залежності форми та амплітуди пульсацій напруги [1, 6], але в такого роду установках присутні також пульсації струму, що впливають на їх характеристики, які раніше не досліджувалися. Тому, аналіз їхнього впливу для високовольтних каскадних установок є актуальним.

Мета досліджень – аналіз пульсацій струму високовольтного каскадного генератора постійної напруги та вивчення його впливу на характеристики таких установок.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз пульсацій струму в роботі здійснено за допомогою розробленого авторами аналітичного методу дослідження високовольтного каскадного генератора постійної напруги [2].

Функціональна схема електроживлення установки подвоєння високої напруги постійного струму узагальненого типу за [2] наведена на рис. 1. З виходу високовольтного підвищувального трансформатора ТР напруга $u_1(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$ через розділовий конденсатор C_1 надходить на вхід каскаду подвоєння напруги VD_1 ; VD_2 ; C_2 , і далі через фільтр R_ϕ ; C_3 – на ланку стабілітронів $ST_1 \dots ST_n$ з вихідним резистором r , паралельно якій включений омичний подільник напруги, навантаження якого можна замінити омичним опором $R_{\Pi H}$ (опір $R_{\Pi H}$ також моделює можливе інше навантаження генератора). Уведення стабілітронів у схему установки (див. рис.1) пояснюється необхідністю зменшення пульсацій та, з другого боку, підвищення точності вимірювань високої напруги. Додатково до схеми установки [7] у схему рис.1 введені навантаження R_2, R_3 .

Вольт-амперна характеристика (як приклад, стабілітрона Д818Д [7]) наведена на рис. 2. Її лінеаризований вираз запишемо у вигляді: $u_{st}(i) = U_0 + r_\partial \cdot (i - I_0)$, де r_∂ – диференціальний опір стабілітрона.

Тоді для напруги навантаження (див. рис. 1) можна записати: $u_H = (U_0 + I_0 r) + (i - I_0)(R_\partial + r)$, де U_0 – еквівалентна робоча напруга та R_∂ – еквівалентний диференціальний опір ланки стабілітронів.

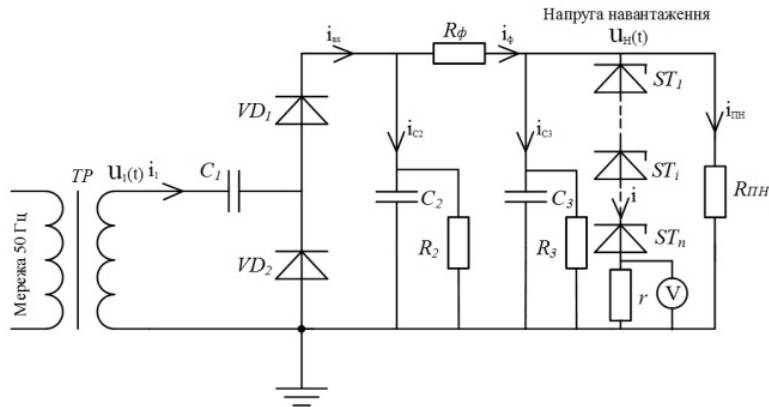


Рис. 1. Функціональна схема живлення установки високої напруги узагальненого типу

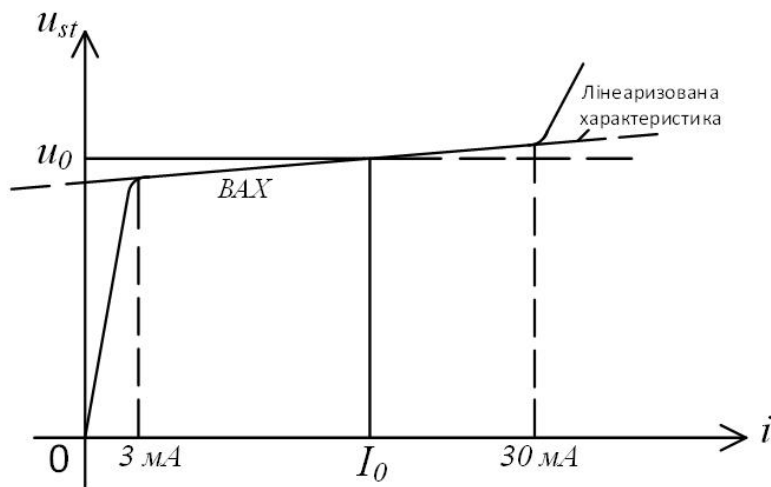


Рис. 2. Вольт-амперна характеристика стабілітрона Д818Д

Виділяючи в $u_H(t)$ пульсацію напруги $\Delta u(t) = u_H(t) - U_0 - I_0 \cdot r$ та проводячи перетворення, в [2] вперше одержана система рівнянь, яка описує процес у схемі каскадного генератора узагальненого типу.

У проміжку часу $0 \leq t \leq T$, де T – період напруги $T = 2\pi/\omega$, у момент часу t_1 розпочинається зарядження (підзарядження) конденсатора C_2 , яке закінчується в момент часу t_2 , ($t_2 > t_1$) після чого в схемі рис. 1 відбувається перерозподіл напруги протягом часу $T - \Delta t$, де $\Delta t = t_2 - t_1$.

Система рівнянь, яка описує усталений періодичний процес у схемі рис. 1 має вигляд [2]:

$$t_1 = \frac{\arcsin\left(\frac{1}{U_m} X_1 - 1\right)}{\omega}, \quad (1)$$

де

$$\begin{aligned}
X_1 = & I_0 R_\phi + (U_0 + I_0 r) \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_3} + \frac{R_\phi}{R_{III}} \right) + (\Delta U_{усталене} + A_3 \sin \psi + A_4 + A_5) \\
& \times \left(1 + \frac{R_\phi}{R_{III}} + \frac{R_\phi}{R_3} + \frac{R_\phi}{R_\partial + r} \right) + C_3 R_\phi (\omega A_3 \cos \psi + p_3 A_4 + p_4 A_5), \\
t_2 = & \frac{\arccos \left(\frac{X_2}{U_m \omega} \right)}{\omega}, \tag{2}
\end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned}
X_2 = & C_3 R_\phi \cdot \left[-\omega^2 A_3 \sin(\omega \Delta t + \psi) + p_3^2 A_4 e^{p_3 \Delta t} + p_4^2 A_5 e^{p_4 \Delta t} \right] + \\
& + \left(1 + \frac{R_\phi}{R_{III}} + \frac{R_\phi}{R_3} + \frac{R_\phi}{R_\partial + r} \right) \left[\omega A_3 \cos(\omega \Delta t + \psi) + p_3 A_4 e^{p_3 \Delta t} + p_4 A_5 e^{p_4 \Delta t} \right]; \\
\Delta u_{усталене} = & - \frac{(U_0 + I_0 r) \cdot \left[\frac{1}{R_2} + \frac{R_\phi}{R_2 R_3} + \frac{R_\phi}{R_2 R_{III}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{III}} \right] + I_0 \left(1 + \frac{R_\phi}{R_2} \right)}{\frac{1}{R_2} + \frac{R_\phi}{R_2 R_3} + \frac{R_\phi}{R_2 R_{III}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{III}} + \frac{1}{R_\partial + r} \cdot \left(1 + \frac{R_\phi}{R_2} \right)}. \tag{3}
\end{aligned}$$

При цьому в період зарядження $t_1 \leq t \leq t_2$ $\Delta u(t)$ має вигляд

$$\Delta u_3(t) = A_3 \sin(\omega(t - t_1) + \psi) + A_4 e^{p_3(t-t_1)} + A_5 e^{p_4(t-t_1)} + \Delta u_{усталене}, \tag{4}$$

а в період перерозподілу напруги при $t \geq t_2$

$$\Delta u_{III}(t) = A_1 e^{p_1(t-t_2)} + A_2 e^{p_2(t-t_2)} + \Delta u_{усталене}, \tag{5}$$

$$A_3 = \frac{C_1 \omega U_m}{R_\phi C_3 (C_1 + C_2)} \cdot \left[b_1^2 \omega^2 + (b_2 - \omega^2)^2 \right]^{-1/2},$$

$\psi = \arctg \frac{b_2 - \omega^2}{b_1 \cdot \omega}$, де коефіцієнти b_1 ; b_2 ; p_1 ; p_2 ; p_3 ; p_4 визначаються

розрахунком із характеристичних рівнянь [2], а U_m ; A_1 ; A_2 ; A_4 ; A_5 визначаються рішенням системи рівнянь:

$$A_3 \omega \cos(\omega \Delta t + \psi) + p_3 A_4 e^{p_3 \Delta t} + p_4 A_5 e^{p_4 \Delta t} = p_1 A_1 + p_2 A_2, \tag{6}$$

$$A_3 \omega \cos \psi + p_3 A_4 + p_4 A_5 = p_1 A_1 e^{p_1 [T - \Delta t]} + p_2 A_2 e^{p_2 [T - \Delta t]}, \tag{7}$$

$$A_3 \sin \psi + A_4 + A_5 = A_1 e^{p_1 [T - \Delta t]} + A_2 e^{p_2 [T - \Delta t]}, \tag{8}$$

$$A_3 \sin(\omega \Delta t + \psi) + A_4 e^{p_3 \Delta t} + A_5 e^{p_4 \Delta t} = A_1 + A_2, \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{C_1 \cdot U_m}{R_\phi \cdot C_3 \cdot (C_1 + C_2)} \cdot \left[b_1^2 \cdot \omega^2 + (b_2 - \omega^2)^2 \right]^{-1/2} \times \\
& [\cos \psi - \cos(\omega \cdot \Delta t + \psi)] = - \frac{A_4}{p_3} \cdot \left(e^{p_3 \cdot \Delta t} - 1 \right) - \\
& - \frac{A_5}{p_4} \cdot \left(e^{p_4 \cdot \Delta t} - 1 \right) - \frac{A_1}{p_1} \cdot \left(e^{p_1 \cdot (T - \Delta t)} - 1 \right) - \\
& - \frac{A_2}{p_2} \cdot \left(e^{p_2 \cdot (T - \Delta t)} - 1 \right) - \Delta u_{усталене} \cdot T. \tag{10}
\end{aligned}$$

У цілому, одержуємо систему із семи рівнянь, що включає сім невідомих: U_m ; A_1 ; A_2 ; A_4 ; A_5 ; t_1 ; t_2 . Ця система має одне рішення в множині дійсних чисел для умов номінального режиму, параметри якого визначені в [2].

Унікальність побудови та рішення системи рівнянь високовольтного каскадного генератора узагальненого типу [2] полягає в тому, що за їх допомогою пошук його режимів іде у зворотному порядку – не від первинного джерела напруги, а від кінцевого результату його роботи – параметрів U_0 , I_0 з урахуванням значень параметрів елементів схеми, при цьому необхідне значення первинної напруги U_m знаходиться в кінці розрахунку. Це дозволяє “синтезувати” режими каскадного генератора залежно від необхідного кінцевого результату та умов його роботи.

Результати досліджень. *Розрахунок режимів джерела живлення зразка установки високої напруги постійного струму.*

Наведена на рис. 1 функціональна схема живлення генератора високої напруги постійного струму має параметри, що фактично відповідають установці державного еталона високої напруги ДЕТУ 08-04-99 в режимах номінальних напруг $\bar{U}_H$ від 1 до 180 кВ [7].

На рис. 1 позначені:

C_1 – розділовий конденсатор (0,1 мкФ);

C_2 , C_3 – зарядний та фільтровий конденсатори (0,072 мкФ);

R_ϕ – опір фільтра (1,78 МОм);

VD_1 , VD_2 – високовольтні діоди;

$ST_1 \dots ST_i \dots ST_n$ – стабілітрони типу Д818Д;

ПН – омичний подільник напруги (в загальному випадку – активний опір, що моделює навантаження генератора).

Стабілітрони Д818Д визначають вибір стабілізованого струму установки $I_0 = 5$ мА для 27 значень вхідних номінальних напруг на навантаженні $\bar{U}_H$, згідно з табл. 1. Подільник напруги ПН має чотири значення вхідних номінальних напруг $U_{ex.ном.ПН}$: 180 кВ; 90 кВ; 60 кВ; 30 кВ, для яких струм подільника напруги розраховується рівним $I_{ПН} = 2,5$ мА. Для інших 23 вхідних напруг подільника напруги $\bar{U}_H$ його струм зменшується пропорційно вхідній напрузі.

У роботі [7] значення коефіцієнта амплітуди пульсацій напруги визначалося за допомогою програмного забезпечення Multisim при заміні

стабілітронів еквівалентними резисторами $r_{екв} = \frac{u_0}{I_0}$. У цій роботі були

проведені аналогічні розрахунки за рішенням одержаної системи рівнянь (1, 2, 6-10) аналітичним методом для значення параметра $r = \frac{\bar{U}_H}{I_0}$ при $R_0 = 0$, яке

визначалося відповідним для кожного режиму. За результатами аналітичного розрахунку в цій роботі також визначався коефіцієнт амплітуди пульсацій напруги для схеми джерела високої напруги (див. рис. 1). Порівнявши між собою отримані результати аналітичного розрахунку та результати [7], одержані з використанням Multisim, можна зазначити, що вони фактично

збігаються. В табл. 1 наведено результати розрахунків коефіцієнта амплітуди пульсацій напруги та коефіцієнта амплітуди пульсацій струму аналітичним методом для ланки стабілітронів (рис. 1) (при заміні їх еквівалентними резисторами) для випадку $R_2 \rightarrow \infty$, $R_3 \rightarrow \infty$ (що відповідає номінальному режиму установки), за формулами $\Delta_{П(н)} = \frac{(\Delta u_1 - \Delta u_2)}{2 \cdot U_0} 100\%$, $\Delta_{П(см)} = \frac{(\Delta_{см1} - \Delta_{см2})}{2 \cdot I_0} 100\%$, де

Δu_1 , Δu_2 , $\Delta_{см1}$, $\Delta_{см2}$ – відповідно максимальні позитивні та негативні амплітуди пульсацій напруги та струму.

**1. Розраховані значення напруги U_m ,
коефіцієнта амплітуди пульсацій напруги $\Delta_{П(н)}$ та коефіцієнта
амплітуди пульсацій струму $\Delta_{П(см)}$ для 27 режимів живлення
установки (при заміні стабілітронів резисторами)**

$\bar{U}_H$, В	U_m , В	$\Delta_{П(н)}$, %	$\Delta_{П(ст)}$, %	$\bar{U}_H$, В	U_m , В	$\Delta_{П(н)}$, %	$\Delta_{П(ст)}$, %
1000	5939,39	1,244	1,244	60000	40995,59	0,0333	0,0333
2000	6577,69	0,6463	0,6463	70000	45920,41	0,0265	0,0265
3000	7216,07	0,4432	0,4432	80000	51725,99	0,0241	0,0241
4000	7854,52	0,34	0,34	90000	57531,71	0,0223	0,0223
5000	8493,02	0,2775	0,2775	100000	61871,51	0,0171	0,0171
6000	9131,58	0,2357	0,2357	110000	67531,04	0,0159	0,0159
7000	9770,18	0,2057	0,2057	120000	73190,65	0,0149	0,0149
8000	10408,83	0,1832	0,1832	130000	78850,32	0,0141	0,0141
9000	11047,51	0,1656	0,1656	140000	84510,03	0,0133	0,0133
10000	11686,23	0,1515	0,1515	150000	90169,78	0,0127	0,0127
20000	18074,87	0,0875	0,0875	160000	95829,55	0,0121	0,0121
30000	24465,06	0,066	0,066	170000	101489,36	0,0116	0,0116
40000	29092,73	0,0443	0,0443	180000	107149,18	0,0112	0,0112
50000	35044,03	0,0377	0,0377				

Були також проведені розрахунки за рішенням системи рівнянь для значень параметрів $r=10$ кОм для режимів $\bar{U}_H=1...10$ кВ та $r=60$ кОм для режимів $\bar{U}_H=20...180$ кВ. Значення r_δ визначалося згідно з [2] рівним 22 Ом для кожного стабілітрона, а $R_\delta=n r_\delta$, де n – кількість стабілітронів, відповідна кожному режиму $\bar{U}_H$, що визначена, виходячи із середнього значення напруги стабілізації Д818Д $u_0=9$ В. За результатами розрахунків визначався коефіцієнт амплітуди пульсацій напруги $\Delta_{П(н)}$ та коефіцієнт амплітуди пульсацій струму $\Delta_{П(см)}$ для ланки стабілітронів схеми (рис. 1), які наведені в табл. 2.

**2. Розраховані значення напруги U_m ,
коефіцієнта амплітуди пульсацій напруги $\Delta_{П(н)}$ та коефіцієнта
амплітуди пульсацій струму $\Delta_{П(см)}$ для 27 режимів живлення
установки з урахуванням параметрів стабілітронів**

$\bar{U}_H$, В	U_m , В	$\Delta_{П(н)}$, %	$\Delta_{П(ст)}$, %	$\bar{U}_H$, В	U_m , В	$\Delta_{П(н)}$, %	$\Delta_{П(ст)}$, %
1000	5971,38	0,3814	6,121	60000	41174,21	0,0323	1,873
2000	6609,63	0,2175	5,95	70000	46094,53	0,0257	1,56

3000	7248,03	0,1692	5,852	80000	51900,12	0,0235	1,472
4000	7886,47	0,1442	5,831	90000	57705,85	0,0217	1,398
5000	8524,96	0,1285	5,781	100000	62041,26	0,0167	1,098
6000	9163,51	0,1174	5,71	110000	67700,81	0,0156	1,042
7000	9802,11	0,1089	5,623	120000	73360,42	0,0146	0,993
8000	10440,75	0,1021	5,525	130000	79020,09	0,0138	0,951
9000	11079,43	0,0963	5,419	140000	84679,8	0,0131	0,913
10000	11718,15	0,0915	5,308	150000	90339,55	0,0125	0,88
20000	18266,51	0,0802	2,944	160000	95999,33	0,0120	0,849
30000	24656,73	0,0621	2,793	170000	101659,13	0,0115	0,822
40000	29271,22	0,0422	2,141	180000	107318,96	0,0111	0,798
50000	35222,53	0,0363	1,992				

Результати розрахунків таблиць 1 та 2 подано у вигляді залежностей відповідних коефіцієнтів амплітуди пульсацій на рис. 3.

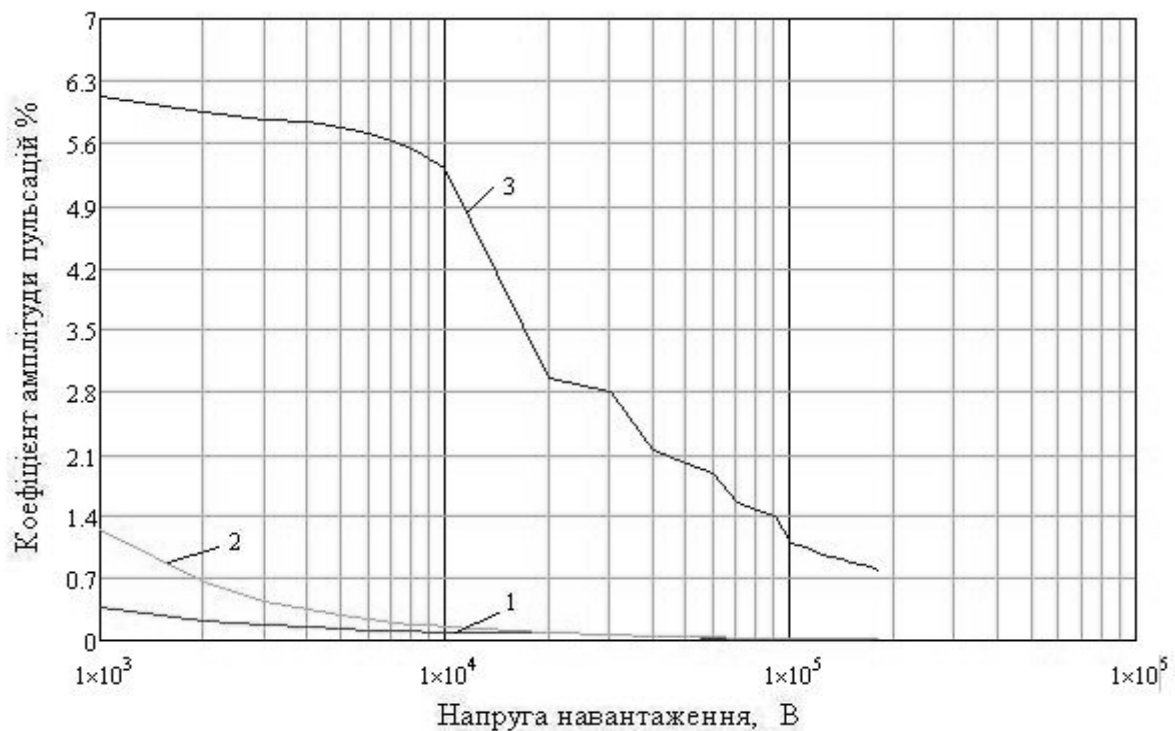


Рис. 3. Залежність коефіцієнта амплітуди пульсацій струму та напруги від напруги навантаження $\bar{U}_n$ в діапазоні 1–180 кВ:

1 – коефіцієнт амплітуди пульсацій напруги, одержаний з урахуванням параметрів стабілітронів; 2 – коефіцієнт амплітуди пульсацій напруги та струму для стабілітронів, одержаний при їх заміні резисторами; 3 – коефіцієнт амплітуди пульсацій струму стабілітронів

Залежності, наведені на рис.3, показують, що пульсації струму в установці з нелінійним навантаженням стабілітронів є максимальними (пульсації струму, крива 3, перевищують у 16–72 рази пульсації напруги, крива 1).

Разом із тим, у випадку заміни стабілітронів резисторами, пульсації напруги (або струму) перевищують відповідні пульсації напруги у 3,26 разів (при $\bar{U}_n = 1$ кВ) та у 1,01 раз (при $\bar{U}_n = 180$ кВ), див. криві 2 та 1 на рис. 3.

Отже, навантаження схеми каскадного генератора високої напруги стабілітронами, дозволяє суттєво знизити амплітуду пульсацій напруги при одночасному різкому збільшенні амплітуди пульсацій струму.

Висновки

1. Одержані результати показують, що запропонований раніше авторами [2] аналітичний метод дозволяє здійснювати високоточні розрахунки режимів напруги та струму високовольтних каскадних генераторів із нелінійним навантаженням, що визначають їх якісні характеристики як джерел живлення відповідних технологічних установок.

2. При застосуванні запропонованого аналітичного методу, розраховані параметри живлення високовольтного каскадного генератора постійної напруги з нелінійним навантаженням. У номінальному режимі робочої напруги установки 1 кВ амплітуда пульсації струму фактично складає 6 % (за проведеними розрахунками – 6,121 %), а в режимі 180 кВ – 0,798 %. Коефіцієнт пульсацій струму $\Delta_{П(ст)}$ суттєво залежить від режиму установки високої напруги та її навантаження.

3. При певній зміні значень активних елементів схеми живлення установки високої напруги постійного струму та при введенні в її схему нелінійних елементів можна цілеспрямовано здійснювати регулювання коефіцієнта амплітуди пульсацій її вихідної напруги (або струму).

Список літератури

1. Альбертинский Б.С. Каскадные генераторы / Б.С. Альбертинский, М.П. Свинын. – М. : Атомиздат, 1980. – 210 с.
2. Аналіз пульсацій високовольтного каскадного генератора напруги постійного струму / В.О. Бржезицький, О.М. Десятов, В.М. Сулейманов, В.І. Хомініч // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 1. – С. 56–61.
3. Бударин М.В. Создание высокоэффективных озонаторных установок производительностью до 5 кг/ч / М.В. Бударин, В.И. Пригожин // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2004. – № 11. – С. 38–41.
4. Гроховский В. А. Исследования по установлению срока годности рыбы холодного бездымного электрокопчения / В. А. Гроховский // Вестник МГТУ. – 2012. – № 1. – С. 35–44.
5. Дайнеко В.И. Газоочистка при утилизации твердых бытовых отходов / В.И. Дайнеко, Д.А. Киссин, Н.В. Степанов // Вестник СевГТУ. – 2003. – № 48. – С. 189–193.
6. Кастров М.Ю. Полупроводниковые широкодиапазонные стабилизаторы напряжения переменного тока / М. Ю. Кастров // Научно-технический журнал «Электросвязь». – 2005. – № 10. – С. 20–22.
7. Обґрунтування вибору стабілітронів і режимів електроживлення еталонних установок високої напруги постійного струму / В.О. Бржезицький, Р.В. Вендичанський, О.М. Десятов, Я.О. Гаран // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 1. – С. 7–13.

8. Опыт применения озоновых технологий при производстве инкубационных яиц / Е. В. Корса-Вавилова, А. К. Османян, А. Л. Штеле [та ін.] // Птица и птицепродукты. – 2011. – № 1. – С. 42–45.
9. Пирогов Е.Н. Современные технологии водоподготовки / Е. Н. Пирогов, Ш. А. Давлетьяров // Экологические проблемы индустриальных мегаполисов: сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. / ДонНТУ, 2009. – С. 221–225.
10. Разработка комплекса безреагентной очистки воды / В.А. Хан, М.А. Лернер, В.Ф. Мышкин, А.А. Цхе // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 2. – С. 4–17.
11. Техніка і електрофізика високих напруг: навч. посібник / [В. О. Бржезицький, А. В. Ісакова, В. В. Рудаков та ін.]; за ред. В. О. Бржезицького, В. М. Михайлова. – Х.: Торнадо, 2005. – С. 514–580.
12. Cockcroft, J. D. Experiments with High Velocity Positive Ions. (I) Further Developments in the Method of Obtaining High Velocity Positive Ions / J. D. Cockcroft, E. T. S. Walton // Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. - 1932. - Vol. 136, № 830. - P. 619–630.

АНАЛИЗ ПУЛЬСАЦИЙ ТОКА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО КАСКАДНОГО ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В.А. Бржезицкий, О.М. Десятов, Я.А. Гаран, А.А. Бабичева

Проведено исследование рабочих режимов высоковольтного каскадного генератора с нелинейной нагрузкой с помощью аналитического метода. Для каскадного высоковольтного источника постоянного тока осуществлено аналитическое исследование изменения напряжения во времени и определена его нелинейная пульсация. Проведено исследование зависимости амплитуды пульсаций тока и напряжения установки.

***Ключевые слова:* каскадный источник высокого напряжения, аналитический метод, амплитуда пульсаций тока, нелинейная нагрузка**

ANALYSIS OF THE CURRENT RIPPLE OF CASCADE GENERATOR HIGH DC VOLTAGE

V. Brzhezitsky, O. Desyatkov, J. Garan, A. Babicheva

In the article the issue of modes calculation for the high-voltage cascade generator with nonlinear loading by means of an analytical method is resolved. For a cascade high-voltage source of a direct current the analytical solution for its pressure and a nonlinear pulsation is found. Research dependence of the amplitude ripple current.

***Keywords:* cascade high-voltage source, an analytical method, amplitude of voltage pulsation, nonlinear loading**

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ОХЛАЖДАЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМ

Б.П. Коршунов, кандидат технических наук

А.И. Учеваткин, доктор технических наук

Ф.Г. Марьяхин, А.Б. Коршунов, кандидаты технических наук

***ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства»***

e-mail: koral314@yandex.ru

Представлено разработанное ресурсосберегающее оборудование для комбинированных блочно-модульных систем охлаждения с роторными распылительными устройствами, использующих как естественный (природный) холод, так и искусственный. Предложенное оборудование целесообразно применять для охлаждения молока и другой сельскохозяйственной продукции.

Ключевые слова: комбинированная блочно-модульная система охлаждения, природный холод, холодильная установка, аккумулятор

Анализ тенденций развития холодильных установок для хозяйств всех форм собственности показал, что весьма перспективным является создание комбинированных холодильных установок с высокоэффективными роторными аэродинамическими распылителями и аккумуляторами холода с использованием льда в качестве аккумулирующего тела. Такие системы, устанавливаемые на открытом воздухе, обладают преимуществами, которые не имеют существующие холодильные машины. Предварительные испытания показали, что расход электроэнергии в зимний период снижается до 10 раз за счет использования естественного (природного) холода, наличие аккумулятора холода позволяет в 2...3 раза снизить установленную мощность подзарядных холодильных установок, при этом повышается надежность охлаждающих систем, уменьшаются потери молока и сохраняется его качество [1, 3–5].

Цель исследований – разработка энергосберегающей охлаждающей системы для животноводческих ферм.

Материалы и методика исследований. Аккумулятор естественного холода представляет собой резервуар с охлажденной водой или льдом, которые обеспечивают накопление и аккумулирование естественного или искусственного холода. Конструкция аккумулятора обеспечивает его работу во всем диапазоне температур наружного воздуха в течение круглого года. Предлагаемая установка комбинированного действия, работающая по энергосберегающей технологии, может работать в течение круглого года

практически во всех районах страны. Она способна вырабатывать холод и для хранилищ сельскохозяйственной продукции: фруктов, овощей, цветов и другой продукции растениеводства. При этом существенно экономится производственная площадь, т.к. установка размещается на открытом воздухе. Она значительно более экологически чистая, чем ее аналоги, работающие по традиционной технологии.

При охлаждении молока установка может работать с теплообменниками как проточного, так и емкостного типа. Большая экономичность и мгновенное охлаждение достигается при работе с теплообменниками проточного типа, поэтому технология, построенная с использованием этих теплообменников значительно более эффективна.

Результаты исследований. ФГБНУ ВИЭСХ совместно с Московским специализированным комбинатом холодильного оборудования (МСКХО) разработан новый тип комбинированных блочно-модульных систем охлаждения с роторными распылительными устройствами, использующих как естественный холод, так и искусственный.

Энергосберегающая аккумулирующая холодильная установка для блочно-модульной технологии охлаждения продукции животноводства представлена на рисунке.

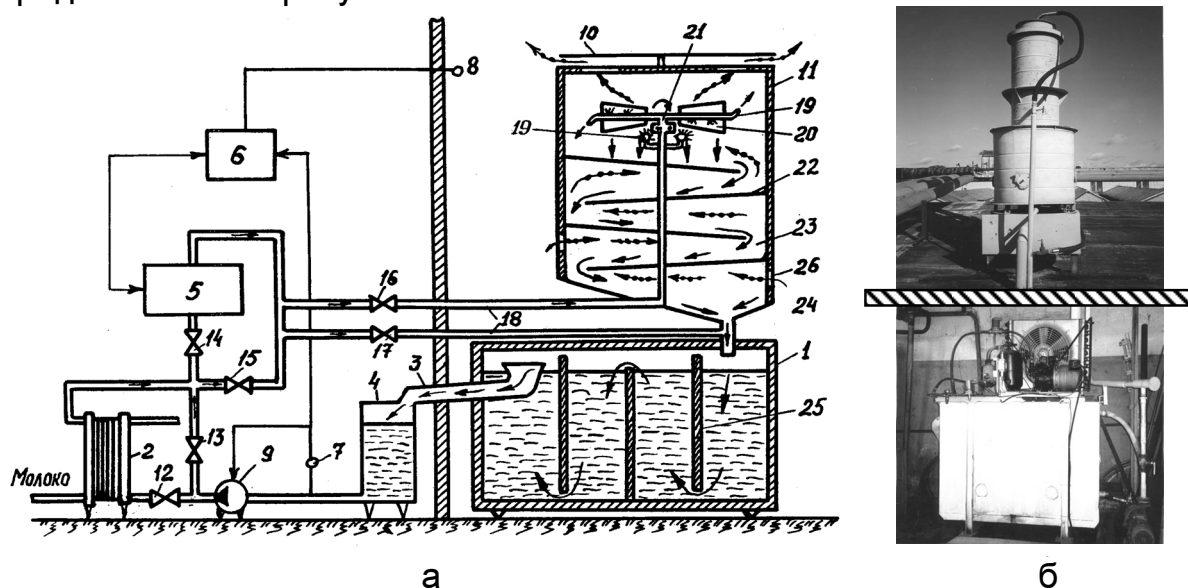


Рис. Аккумулирующая холодильная установка для блочно-модульной технологии охлаждения продукции животноводства:
а – функционально-структурная схема; б – общий вид установки;
1 – теплоизолированный резервуар; 2 – проточный теплообменник;
3 – наклонная труба; 4 – промежуточный резервуар (НРЕ); 5 – подзарядная холодильная машина; 6 – блок управления; 7 – датчик температуры воды;
8 – датчик температуры наружного воздуха; 9 – водяной насос; 10 – экран;
11 – полый цилиндр; 12-17 – управляемые вентили; 18 – подающая труба;
19 – вращающийся распылитель; 20 – аэродинамические пластины; 21 – полое подшипниковое устройство; 22 – наклонные поверхности; 23 – щелевые отверстия; 24 – сливной поддон; 25 – перегородки

Установка используется для охлаждения круглый год.

В зависимости от температуры окружающей среды возможны следующие режимы работы. При температуре окружающей среды выше 2 °С установка работает в режиме аккумуляции и использования искусственного холода, а при температуре ниже 2 °С – в режиме аккумуляции и использовании естественного холода. Режимы работы установки выбираются блоком управления 6 по показанию датчика температуры воздуха 8, установленного вне теплоизолированного помещения.

В режиме аккумуляции искусственного холода вода из промежуточного резервуара 4 водяным насосом 9 подается через управляемые вентили 13 и 14 в холодильную машину 5, где охлаждается до установленной температуры (ниже 2 °С), затем по трубопроводу через вентиль 17 поступает в крайнюю секцию теплоизолированного резервуара 1. Вода, вытесняясь через нижние и верхние участки перегородок 25, по наклонной трубе попадает в промежуточный резервуар 4 и цикл повторяется. Теплоизоляция позволяет поддерживать на время одного цикла постоянную температуру воды на выходе из резервуара 1. Искусственный холод аккумулируется в промежутках между дойками и в ночное время. В отдельных конструкциях установок возможна установка испарителей подзарядных холодильных установок в резервуаре 1.

В режиме использования аккумулированного искусственного холода вода из промежуточного резервуара 4 подается водяным насосом 9 через управляемый вентиль 12 в проточный теплообменник 2, где отбирает тепло от молока, далее через управляемые вентили 15 и 17 по трубопроводу поступает в крайнюю секцию резервуара 1. При этом часть оборотной воды подается через управляемый вентиль 14 в подзарядную холодильную машину 5, далее эти потоки соединяются в трубопроводной системе и через управляемый 17 (16 закрыт) поступает в резервуар 1. В этом случае температура воды на выходе резервуар 1 будет ниже, чем температура оборотной воды на выходе проточного теплообменника 2. Это позволяет в 3...4 раза уменьшить установленную мощность подзарядной холодильной машины.

В режиме использования аккумулированного естественного холода оборотная вода после теплообменника 2 подается через управляемые вентили 15, 16, подающую трубу 18 и полые подшипниковые устройства 21 в роторный распылитель 19. При подаче оборотной воды на распылитель 19 за счет реактивной силы воды он приводится во вращательное движение вокруг полого цилиндра 21. Для увеличения теплоотдачи внутри полого цилиндра 11 установлены наклонные поверхности 22, которые позволяют увеличивать путь прохождения воды и распылительной площади. Распыленная вода, попадая на верхнюю наклонную поверхность 22, сливается через щелевое отверстие 23 между наклонной поверхностью и внутренней стороной полого цилиндра на вторую наклонную поверхность и т.д. Таким образом, вода проходит все наклонные поверхности 22 и попадает через сливной поддон 24 в крайнюю секцию резервуара 1. На распылителе 19 установлены аэродинамические пластины 20, которые при вращении распылителя забирают (засасывают) воздух с нижних щелевых отверстий 26

и подают его навстречу распыленной воде, интенсивно ее охлаждая. Таким образом, воздух подается через наклонные поверхностные пространства навстречу распыленной воде, далее через отверстия между полым цилиндром 11 и экраном 10 в окружающую среду. Тем самым усиливается теплоотдача от распыляемой воды, а также увеличивается скорость вращения распылителя 19.

В режиме аккумуляции естественного холода по сигналу датчика температуры наружного воздуха 8 вода из промежуточного резервуара 4 водяным насосом 9 подается через вентили 13, 15, 16 в распылитель 19, где интенсивно охлаждается и далее поступает в крайнюю секцию резервуара 1, затем, вытесняя оставшуюся часть отепленной воды, через нижние и верхние участки перегородок 25 и наклонную трубу 3 поступает в промежуточный резервуар 4. Далее цикл повторяется. Температура воды в резервуаре 1 при охлаждении молока и аккумуляции искусственного и естественного холода контролируется датчиком 7.

В случае, если вращающиеся части распылителей примерзают и теряют возможность вращения из-за сильных морозов, то отепленная вода (обратный хладоноситель после охлаждения молока) протекает в отверстия распылителей и "размораживает" их. В этом случае, аэродинамические поверхности до размораживания отверстий распылителя незначительное время не функционируют. Таким образом, достигается естественное регулирование установки и сохраняется ее работоспособность во всех режимах работы.

Энергосберегающая аккумулирующая холодильная установка для блочно-модульной технологии охлаждения продукции животноводства унифицирована с установками сезонного действия. Коэффициент унификации достигает 85 %.

Установлено, что установки такого типа более эффективны в технологических линиях обработки молока. Вместимость аккумулятора для хладоносителя определяется из расчета $3 \text{ м}^3 / \text{т}$ охлаждаемого молока при его предварительном охлаждении водопроводной водой до $12...15 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Опыт эксплуатации экспериментальных систем показывает, что такая установка обеспечивает охлаждение молока с высокой надежностью до температуры $4...6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре наружного воздуха не выше $+ 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. При более низкой температуре наружного воздуха и образовании ледяной корки и льда охлаждающая способность (хладопроизводительность) существенно возрастает.

Производительность насоса хладоносителя, а следовательно, и время охлаждения, регулируется вентилями, расположенными на байпасе насоса хладоносителя.

Вместимость промежуточного резервуара накопительно-регулирующей емкости (НРЕ) 4 определяется из условия, что после остановки насоса хладоносителя 9 НРЕ должна вместить воду, оставшуюся в трубах после процесса охлаждения. Кроме того, в НРЕ 4 должно быть достаточно хладоносителя для того, чтобы следующий пуск происходил при залитом насосе 9. Исходя из этого условия, можно использовать НРЕ

емкостью примерно 200 л, достаточной для заполнения системы хладоносителем. В аккумулирующей холодильной установке для блочно-модульной технологии охлаждения требуемая мощность холодильной установки 5 зависит от режима его работы совместно с аккумулятором холода. Цикл работы установки состоит из трех этапов. На первом этапе производится охлаждение молока за счет запаса холода в аккумуляторе холода. При этом хладоноситель в системе «нагревается» и запас холода в аккумуляторе снижается. Поэтому сразу после этапа охлаждения молока должна включаться подзарядная холодильная машина 5 и доохладить хладоноситель до требуемой температуры. Хладопроизводительность подзарядной холодильной машины 5 должна обеспечивать охлаждение хладоносителя до требуемой температуры в промежутках между дойками. Время работы подзарядной холодильной машины 5 устанавливается в зависимости от распорядка работы на ферме (двухразовое или трехразовое доение).

Если допустить перемешивание теплой и холодной воды в аккумуляторе холода в процессе охлаждения, то при температуре воды в конце цикла охлаждения близкой к 6 °С, резко возрастает требуемый объем аккумулятора (данные экспериментальных исследований). Этого можно избежать, если резервуар аккумулятора расчленить специальными перегородками на секции и использовать принцип вытеснения хладоносителя из аккумулятора и распыливать обратный хладоноситель, используя при этом принудительное его охлаждение встречным потоком холодного воздуха.

В таблице представлены результаты расчета и экспериментальных значений температуры, до которой можно охладить молока.

Температура охлаждаемого молока при поочерёдном подключении секций АХ

Температура окружающей среды t_o , °С	Количество перегородок, n			
	2	3	4	5
0	2,40	1,88	1,60	1,43
2	4,02	3,62	3,38	3,23
4	5,76	5,28	5,12	5,03

Предварительные экспериментальные исследования показали, что использование роторного аэродинамического распылительного блока позволяет повысить эффективность установки на 15...20 % за счет интенсивного выброса тепла в атмосферу с поступающего отепленного хладоносителя после процесса охлаждения молока. При низких температурах наружного воздуха хладопроизводительность установки существенно возрастает.

Использование встроенного испарителя подзарядной холодильной установки в аккумуляторе позволяет получить в процессе аккумуляции

водо-ледяную смесь и тем самым повысить дополнительно хладопроизводительность установки и ее надежность.

Достоинством установок такого типа является:

- сравнительно более низкая металлоемкость вследствие улучшения распыления и увеличения эффективности роторных аэродинамических распылителей, улучшения конструкции корпуса аккумулятора холода;
- увеличенная хладопроизводительность за счет увеличения площади распыления в 10...15 раз.

Выводы

1. Для охлаждения сельскохозяйственной продукции в хозяйствах всех форм собственности перспективны комбинированные холодильные установки блочно-модульного типа, использующие естественный (природный) холод. Установки снабжены высокоэффективными аэродинамическими распылителями роторного типа, аккумуляторами холода, использующими в качестве аккумулирующего тела лед и ледяную воду.

2. Использование естественного холода для охлаждения молока и аккумулятирование искусственного холода позволяет снизить потребность сельского хозяйства в дефицитных водоохлаждающих холодильных установках, перейти на экологически чистую технологию и получить значительную экономию электроэнергии.

Список литературы

1. Иванов Ю.А. Качество молока и эффективность его производства / Ю.А. Иванов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2012. – №2. – С. 22–24.
2. Математическая модель и метод расчета параметров энергосберегающей теплохолодильной системы для животноводческих ферм / Б.П. Коршунов, А.И. Учеваткин, Ф.Г. Марьяхин, А.Б. Коршунов // Вестник ВИЭСХ. – 2012. – №4. – С. 34–38.
3. Цой Ю.А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм / Ю.А. Цой. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 424 с.
4. Эглит А.Я. Проблемы холодоснабжения молокозаводов / А.Я. Эглит, В.В. Кириллов, А.А. Брусенцев // Холодильная техника. – 2012. – №12. – С. 26–27.
5. http://www.attis.com.ua/site/equipment/momentary_milk_cooling.html?lang=ru

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ОХОЛОДЖУВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМ

Б.П. Коршунов, О.І. Учеваткін, Ф.Г. Мар'яхін, О.Б. Коршунов

Наведено розроблене ресурсозберігаюче обладнання для комбінованих блочно-модульних систем охолодження з роторними розпилювальними пристроями, що використовують як природний холод, так і штучний. Запропоноване обладнання доцільно

застосовувати для охолодження молока та іншої сільськогосподарської продукції.

Ключові слова: комбінована блочно-модульна система охолодження, природний холод, холодильна установка, акумулятор

ENERGY-SAVING COOLING SYSTEM FOR LIVESTOCK FARMS

B. Korshunov, A. Uchevatkin, F. Maryahin, A. Korshunov

The developed energy-saving equipment for combined modular cooling systems with rotary spray devices that use either natural cold and artificial in the article are presents. The proposed equipment can be used for cooling milk and other agricultural products. Long-term tests have shown that the energy consumption during the winter period is reduced to 10 times through the use of natural cold, the presence of the cold battery allows in 2...3 times to reduce the installed power recharging of refrigeration systems, to improve the reliability of cooling systems, to reduce the loss of milk and to maintain its quality.

Keywords: combined block-modular cooling system, natural cold, refrigeration unit, battery

УДК 536.24

ВЛИЯНИЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАГРОМОЖДЕНИЯ ЭШЕЛОНИРОВАННЫМИ СТАБИЛИЗАТОРАМИ КАНАЛОВ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Н.М. Фиалко, доктор технических наук, чл.-корр. НАН Украины

Ю.В. Шеренковский, кандидат технических наук

В.Г. Прокопов, доктор технических наук

Н.П. Полозенко, научный сотрудник

Н.О. Меранова, С.А. Алешко, кандидаты технических наук

Е.И. Милко, старший научный сотрудник

А.А. Озеров, научный сотрудник

О.Н. Кутняк, Л.А. Швецова, младшие научные сотрудники

Институт технической теплофизики НАН Украины

М. З. Абдулин, кандидат технических наук

Национальный технический университет Украины «КПИ»

e-mail: nmfialko@ukr.net

Представлены результаты исследований закономерностей течения топлива и окислителя при варьировании величины коэффициента

© Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, В.Г. Прокопов,
Н.П. Полозенко, Н.О. Меранова, С.А. Алешко, Е.И. Милко,
А.А. Озеров, О.Н. Кутняк, Л.А. Швецова, М. З. Абдулин, 2015

застосовувати для охолодження молока та іншої сільськогосподарської продукції.

Ключові слова: комбінована блочно-модульна система охолодження, природний холод, холодильна установка, акумулятор

ENERGY-SAVING COOLING SYSTEM FOR LIVESTOCK FARMS

B. Korshunov, A. Uchevatkin, F. Maryahin, A. Korshunov

The developed energy-saving equipment for combined modular cooling systems with rotary spray devices that use either natural cold and artificial in the article are presents. The proposed equipment can be used for cooling milk and other agricultural products. Long-term tests have shown that the energy consumption during the winter period is reduced to 10 times through the use of natural cold, the presence of the cold battery allows in 2...3 times to reduce the installed power recharging of refrigeration systems, to improve the reliability of cooling systems, to reduce the loss of milk and to maintain its quality.

Keywords: combined block-modular cooling system, natural cold, refrigeration unit, battery

УДК 536.24

ВЛИЯНИЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАГРОМОЖДЕНИЯ ЭШЕЛОНИРОВАННЫМИ СТАБИЛИЗАТОРАМИ КАНАЛОВ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Н.М. Фиалко, доктор технических наук, чл.-корр. НАН Украины

Ю.В. Шеренковский, кандидат технических наук

В.Г. Прокопов, доктор технических наук

Н.П. Полозенко, научный сотрудник

Н.О. Меранова, С.А. Алешко, кандидаты технических наук

Е.И. Милко, старший научный сотрудник

А.А. Озеров, научный сотрудник

О.Н. Кутняк, Л.А. Швецова, младшие научные сотрудники

Институт технической теплофизики НАН Украины

М. З. Абдулин, кандидат технических наук

Национальный технический университет Украины «КПИ»

e-mail: nmfialko@ukr.net

Представлены результаты исследований закономерностей течения топлива и окислителя при варьировании величины коэффициента

© Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, В.Г. Прокопов,
Н.П. Полозенко, Н.О. Меранова, С.А. Алешко, Е.И. Милко,
А.А. Озеров, О.Н. Кутняк, Л.А. Швецова, М. З. Абдулин, 2015

загромождения эшелонированными стабилизаторами проходного сечения каналов микрофакельных горелочных устройств. Приведены данные математического моделирования по установлению эффектов влияния указанного коэффициента загромождения на особенности развития струй топлива, внедряемого в сносящий поток окислителя, характеристики циркуляционного течения в ближнем следе стабилизаторов и пр.

Ключевые слова: коэффициент загромождения проходного сечения канала, микрофакельные горелки, лестничное расположение стабилизаторов пламени

Повышение степени загромождения проходного сечения канала горелочных устройств применяется, как известно, в качестве средства уменьшения длины факела. В этом случае увеличивается количество стабилизаторов пламени в решетке так, что при неизменном общем расходе природного газа уменьшается его расход, приходящийся на один стабилизатор. Это обуславливает требуемое сокращение длины факела при горении. Однако, при достаточно высокой степени загромождения проходного сечения канала в условиях, когда торцы стабилизаторов располагаются в одной плоскости, возникает спонтанное нарушение симметрии течения. Последнее может быть устранено посредством эшелонированного расположения стабилизаторов пламени в решетке.

Таким образом, обеспечение относительно небольшой длины факела при сохранении устойчивого течения возможно лишь в условиях, когда наряду с увеличением степени загромождения проходного сечения канала применяется эшелонирование стабилизаторной решетки.

В последний период исследованию различных аспектов рабочих процессов микрофакельных горелочных устройств с эшелонированными решетками стабилизаторов пламени уделяется все большее внимание (см. например [7, 3–5]). Однако целый ряд вопросов, касающихся данных процессов для различных конструкции рассматриваемых горелочных устройств, остается неизученным.

Цель исследований – выявление основных особенностей структуры течения топлива и окислителя в микрофакельных горелочных устройствах с лестнично эшелонированными решетками стабилизаторов пламени при варьировании степени загромождения проходного сечения канала этих устройств.

Материалы и методика исследований. Рассмотрению подлежит структура течения природного газа и воздуха в микрофакельной горелке при лестничном расположении стабилизаторов пламени. Математическая постановка рассматриваемой задачи переноса может быть представлена в следующем виде:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho U_j)}{\partial x_j} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho U_i) + \frac{\partial (\rho U_j U_i)}{\partial x_j} = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial (\tau_{ij})}{\partial x_j}, \quad i=1,2,3, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho_k}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_k U_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(D_k \frac{\partial \rho_k}{\partial x_j} \right), \quad (3)$$

$$k = 1, 2, \dots, N-1,$$

где x_j – декартова координата, м, $j = 1, 2, 3$; U_j – компонента вектора скорости в направлении оси x_j , м/с; P – статическое давление, Па; $\tau_{i,j}$ – компоненты тензора напряжения, н/м²; ρ – плотность, кг/м³; ρ_k – парциальная массовая плотность k -той компоненты, кг/м³, $\rho_k = \rho W_k$; W_k – массовая концентрация; D_k – коэффициент диффузии k -той компоненты, м²/с.

Численная реализация поставленной задачи осуществлялась на основе метода DES (Detached Eddy Simulation). Данный метод, как известно, был предложен в качестве альтернативы RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) и LES (Large Eddy Simulation) методам при расчете пристеночных течений с обширными отрывными зонами, для которых RANS модели не способны обеспечить приемлемую точность, а LES требует чрезмерно больших вычислительных ресурсов. При этом учитывалось то обстоятельство, что значительная доля вычислительных затрат LES связана с расчетом пристеночной части присоединенных пограничных слоев, населенных энергонесущими вихрями малых размеров, и что расчет именно таких течений с помощью RANS является достаточно надежным и экономичным. Это естественным образом привело авторов DES к мысли о создании комбинированной RANS-LES модели, которая сочетала бы в себе лучшие качества обоих методов, а именно, надежность и вычислительную эффективность RANS в присоединенных пограничных слоях с высокой точностью и приемлемыми вычислительными затратами LES вдали от стенок [1, 2, 5,].

Принципиальное отличие DES от LES состоит в том, что в рамках DES “точно” рассчитываются не все энергонесущие вихри, а лишь “отсоединенные”, которые населяют отрывные зоны, а вихри, населяющие области присоединенных пограничных слоев, описываются обычными полуэмпирическими RANS моделями. Еще одна важная особенность DES состоит в том, что в рамках этого подхода в RANS и LES областях используется одна и та же “базовая” модель турбулентности, которая функционирует как RANS модель внутри пристеночного пограничного слоя и как ее подсеточный (Sub-Grid Scale или SGS) аналог вдали от твердых стенок.

Реализация описанной выше идеи метода DES базируется на том, что уравнения RANS и LES имеют, как было упомянуто выше, общую форму. Кроме того, предполагается, что RANS модель, на основе которой строится модель DES, может быть преобразована в подсеточную модель для LES путем замены линейного масштаба турбулентности l_{RANS} , явно или неявно фигурирующего во всех RANS моделях, на подсеточный масштаб $l = c\Delta$. Тогда, вводя гибридный линейный масштаб в виде $l_{DES} = \min(l_{RANS}, c_{DES}\Delta)$, где c_{DES} – дополнительная константа модели, аналогичная константе Смагоринского, получим модель DES, которая, в

зависимости от соотношения линейных масштабов RANS и LES, функционирует либо как базовая RANS модель, либо как ее подсеточная версия. В результате в областях потока, в которых используемая сетка является слишком грубой и непригодной для разрешения турбулентных структур, то есть при $c_{DES}\Delta > l_{RANS}$, DES функционирует как RANS, а в областях с достаточно мелкой сеткой, то есть при $c_{DES}\Delta < l_{RANS}$, – как подсеточная модель для LES. Важной особенностью DES является также то обстоятельство, что в качестве характерного размера “фильтра” в нем используется максимальный из трех шагов сетки в рассматриваемой точке потока: $\Delta = \max(\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z)$ [1, 5].

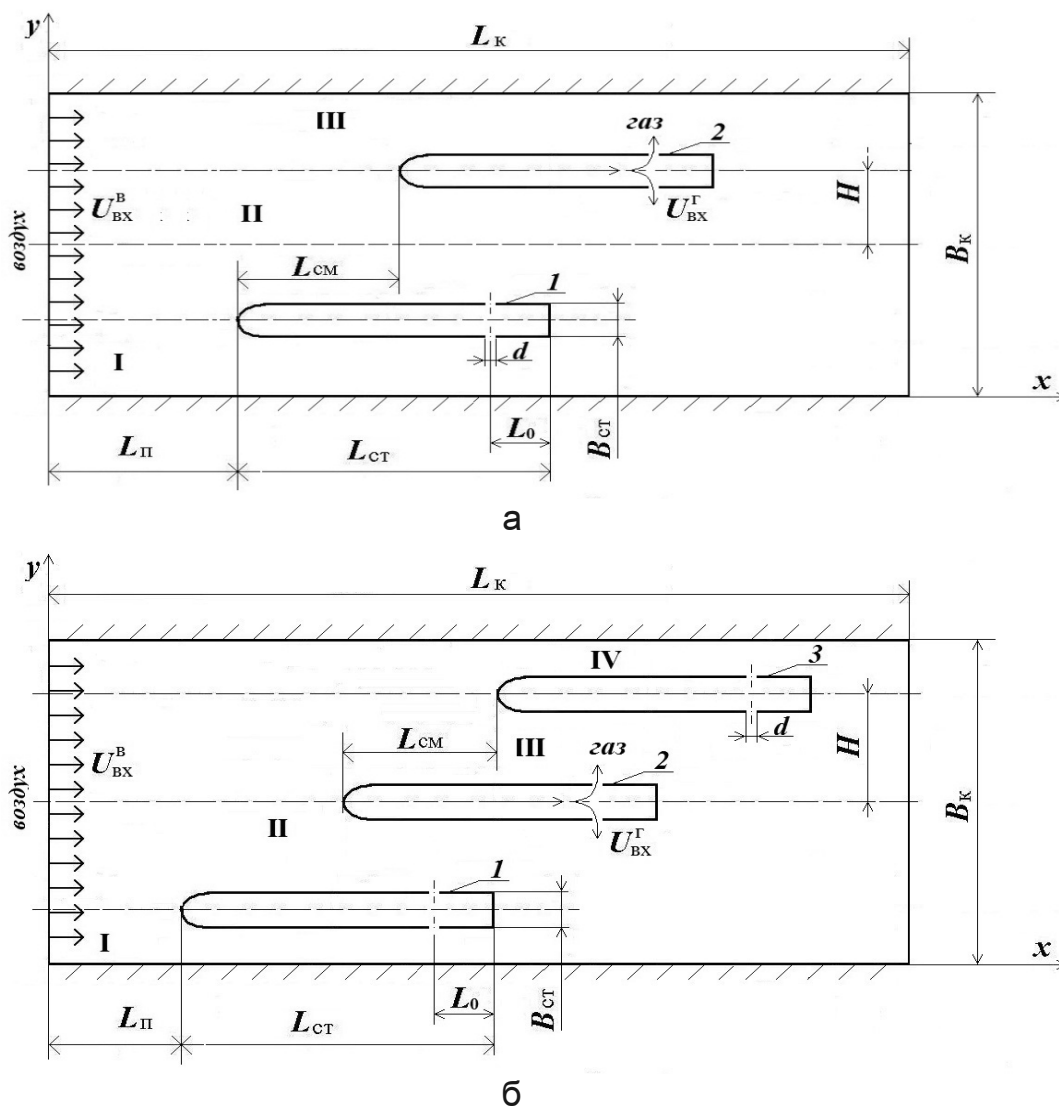


Рис. 1. К постановке задачи для лестнично эшелонированной решетки стабилизаторов при различных значениях коэффициента загромождения проходного сечения канала: $k_f = 0,3$ (а) и $k_f = 0,45$ (б):
1, 2, 3 – первый, второй и третий стабилизаторы пламени;
I, II, III, IV – каналы стабилизаторной решетки

Ниже приводятся результаты математического моделирования по исследованию закономерностей влияния величины коэффициента

загромождения k_f проходного сечения канала на характеристики течения в лестнично эшелонированной решетке стабилизаторов пламени ($k_f = \frac{B_{ст}}{H}$, где $B_{ст}$ – ширина стабилизатора, м; H – шаг расположения стабилизаторов, м). При этом рассматриваются две ситуации, отвечающие расположению в канале горелочного устройства шириной $B_k = 200$ мм двух и трех стабилизаторов пламени, что соответствует значениям $k_f = 0,3$ и $0,45$ (рис. 1). Общий расход воздуха через горелочное устройство составлял $0,165 \text{ м}^3/\text{с}$ ($600 \text{ м}^3/\text{ч}$), а газа $-0,0139 \text{ м}^3/\text{с}$ ($50 \text{ м}^3/\text{ч}$). Прочие исходные параметры при математическом моделировании были одинаковыми для двух рассматриваемых ситуаций: $L_{п} = 0,2$ м; $L_{ст} = 0,215$ м; $L_k = 1,5$ м; $H = 0,075$ м; $B_k = 0,225$ м; $B_{ст} = 0,03$ м; $L_{см} = 0,06$ м; $L_0 = 0,02$ м; $d = 0,0045$ м; $S/d = 3,55$, где S – шаг расположения газоподающих отверстий.

Результаты исследований. На рисунках 2 и 3 и в таблицах 1 и 2 приведены характерные результаты выполненных исследований.

На рис. 2 показаны поля продольной составляющей U_x вектора скорости для решетки, состоящей из двух ($k_f = 0,3$) и трех ($k_f = 0,45$) стабилизаторов пламени. В табл. 1 приведены средние значения скорости U_x в каналах решетки. Как следует из полученных данных, чем больше значение k_f , тем более несимметричной является картина течения в каналах стабилизаторной решетки. Так при $k_f = 0,3$ отличие средних скоростей в пристеночных каналах составляет 9 %, а при $k_f = 0,45$ достигает 22,6 %.

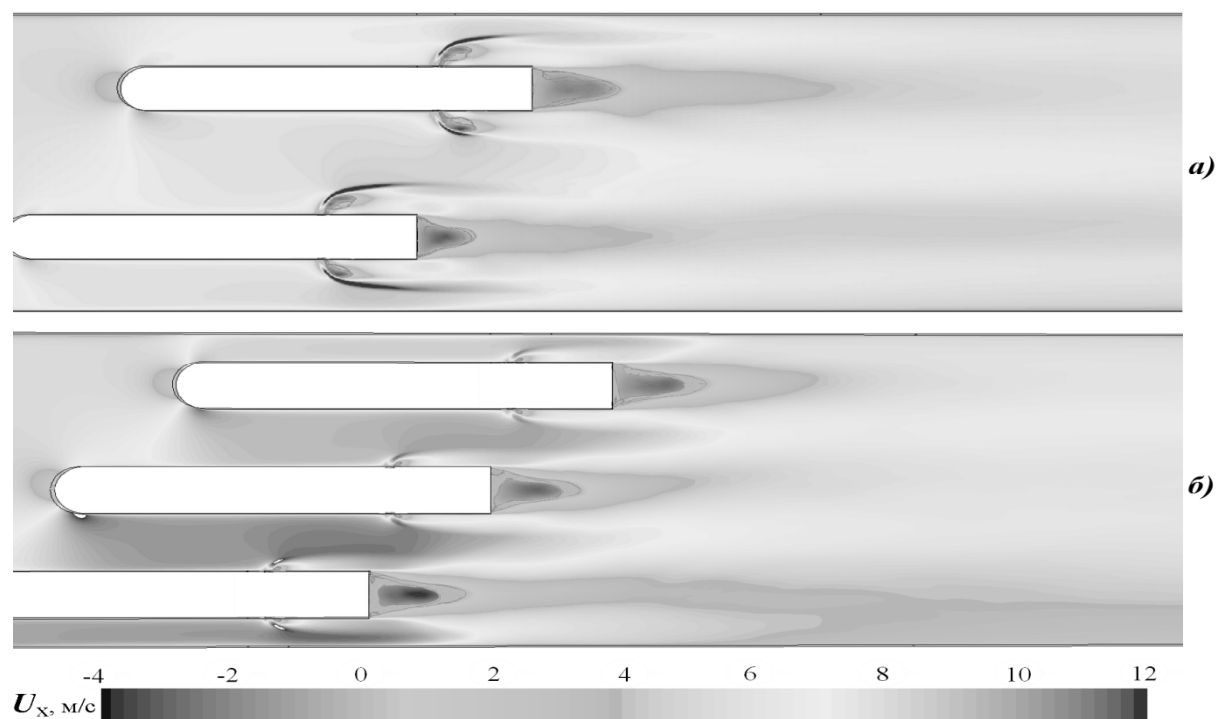


Рис. 2. Поля продольной составляющей U_x вектора скорости при различных значениях коэффициента загромождения проходного сечения канала: $k_f = 0,3$ (а) и $k_f = 0,45$ (б)

1. Средние значения скорости U_x (м/с) в каналах решетки

k_f	Номер канала			
	I	II	III	IV
0,3	7,39	7,49	6,78	-
0,45	9,60	10,11	9,02	7,82

Что же касается характера развития струй газа, внедряемых в сносящий поток воздуха, то согласно данным, представленным на рис. 2, глубина их проникновения значительно меньше в случае $k_f = 0,45$. Это, как очевидно, объясняется с одной стороны, меньшим расходом газа, приходящимся на один стабилизатор, а с другой – более высокими скоростями воздуха в каналах решетки.

В табл. 2 приведены данные о размерах зон обратных токов и величинах максимальных по модулю скоростей в этих зонах при $k_f = 0,3$ и $k_f = 0,45$.

2. Длины зон обратных токов $L_{от}$ и максимальные по модулю скорости U_{max} в этих зонах за i -тым стабилизатором пламени при разных значениях k_f

Параметр	$k_f = 0,3$		$k_f = 0,45$		
	$i = 1$	$i = 2$	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
$L_{от}, 10^{-3} \text{ м}$	30,8	46,1	47,5	44,5	46,5
$U_{max}, \text{ м/с}$	3,1	2,05	3,76	2,86	2,67

Рис. 3 иллюстрирует поля среднеквадратичных значений пульсаций скорости $\overline{U'}$ для разных величин k_f . Как видно, величины пульсации скорости $\overline{U'}$ в закормовых областях стабилизаторов существенно возрастают с увеличением коэффициента загромождения проходного сечения канала k_f . Так, при $k_f = 0,45$ максимальные значения пульсаций $\overline{U'}$ достигают 6,2 м/с, а при $k_f = 0,3$ не превышают 4,3 м/с. Обращает на себя внимание также тот факт, что для $k_f = 0,45$ значения $\overline{U'}$ оказываются заметно более высокими в указанных закормовых областях по сравнению с областями развития струй, а для $k_f = 0,3$ пульсации $\overline{U'}$ в этих областях являются близкими по величине.

Полученные при математическом моделировании картины полей давлений при разных значениях k_f свидетельствуют о том, что для $k_f = 0,3$ наиболее низкие давления наблюдаются в зонах развития струй. При $k_f = 0,45$ области пониженного давления имеют место, как в указанных зонах развития струй, так и в закормовых областях стабилизаторов. Что же касается уровня давления в каналах стабилизаторной решетки, то они в целом оказываются существенно выше при меньшей степени загромождения проходного сечения канала горелочного устройства.

Повышение степени загромождения проходного сечения горелочного устройства очевидно должно приводить к увеличению потерь давления в горелочном устройстве. Согласно результатам

выполненных исследований в рассматриваемой ситуации при $k_f = 0,3$ эти потери составляют 15,6 Па, а при $k_f = 0,45$ достигают 32,9 Па.

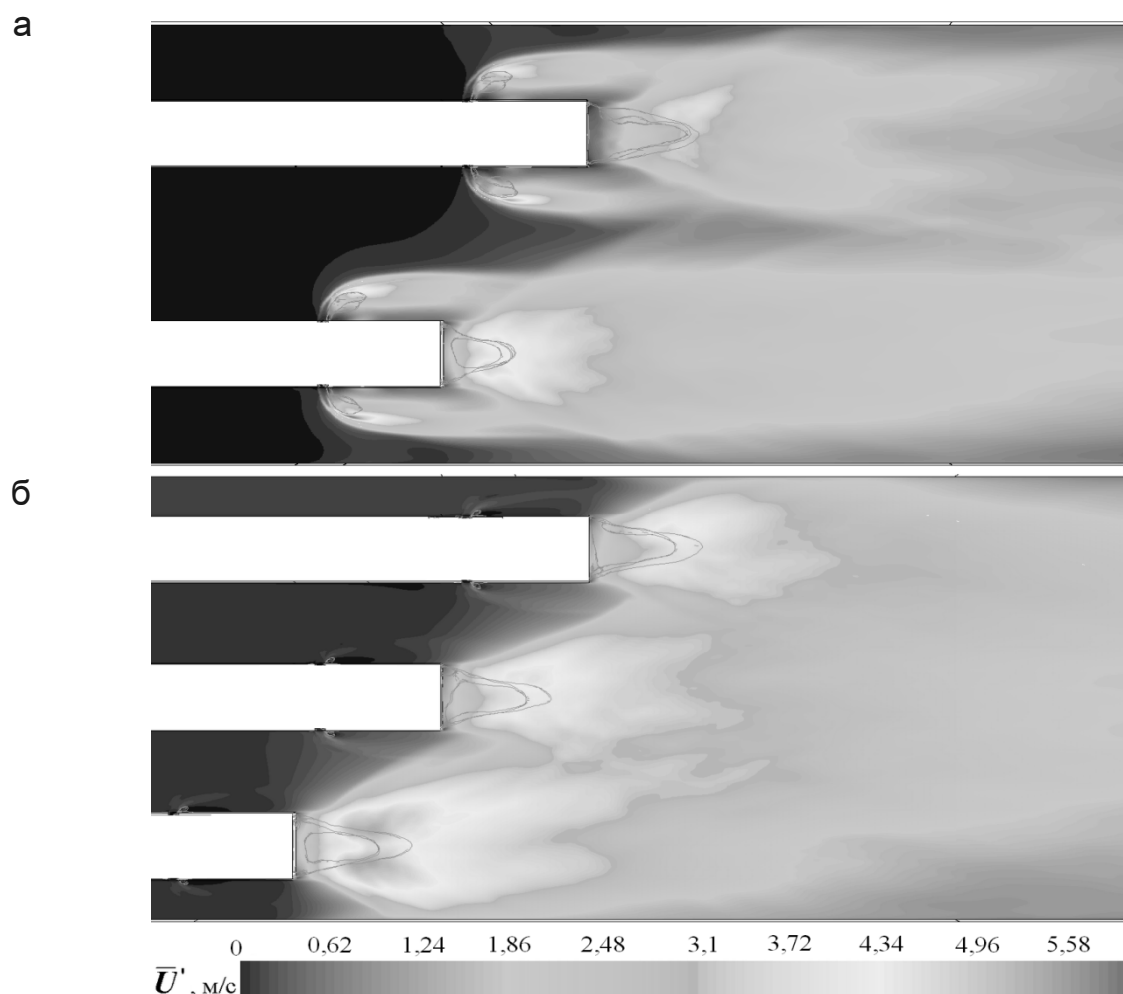


Рис. 3. Поля среднеквадратичных значений пульсаций скорости $\bar{U}'$ при различных значениях коэффициента загромождения проходного сечения канала: $k_f = 0,3$ (а) и $k_f = 0,45$ (б)

Выводы

Установлены закономерности влияния на структуру течения топлива и окислителя степени загромождения стабилизаторами пламени проходного сечения микрофакельного горелочного устройства с лестничным расположением стабилизаторов пламени. Показано, что повышение степени загромождения обуславливает возрастание асимметричности течения в стабилизаторных решетках, уменьшение глубины проникновения струй топлива в сносящий поток окислителя, заметное увеличение пульсаций скорости в закормовых областях стабилизаторов, а также существенное повышение потерь давления в горелочном устройстве.

Список литературы

1. Волков К.Н. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений / К.Н. Волков, В.Н. Емельянов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с.
2. Гарбарук А.В. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений: учеб. пособие / Гарбарук А.В., Стрелец М.Х., Шур М.Л. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 88 с.
3. Моделирование структуры течения изотермического потока в эшелонированной решетке плоских стабилизаторов пламени / Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Л.С. Бутовский [и др.] // Пром. теплотехника. – 2010. – №6. – С. 28–36.
4. Особенности смесеобразования при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени в микрофакельных горелочных устройствах / Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, В.Г. Прокопов [и др.] // XXI междунар. конф. [«Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики», (Ялта, 7 -11 июня 2011 г.). – К., 2011. – С. 167–170.
5. Особенности течения топлива и окислителя при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени / Н.М. Фиалко, В.Г. Прокопов, Л.С. Бутовский [и др.] // Пром. теплотехника. – 2011. – № 2. – С. 59–64.
6. Снегирев А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: учеб. пособие / А.Ю. Снегирев. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 143 с.
7. Структура течії в мікрофакельних пальниках з ешелонованими решітками стабілізаторів полум'я / Н.М. Фіалко, В.Г. Прокопов, Ю.В. Шеренковський [та ін.] // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2014. – 194/3. – С. 107–113.

ВПЛИВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕБІГУ СТУПЕНЯ ЗАХАРАЩЕННЯ ЕШЕЛОНОВАНИМИ СТАБІЛІЗАТОРАМИ КАНАЛІВ ПАЛЬНИКОВИХ ПРИСТРОЇВ

**Н.М. Фіалко, Ю.В. Шеренковський, В.Г. Прокопов, Н.П.
Полозенко, Н.О. Меранова, С.О. Альошко, Є.І. Мілко, А.А. Озеров,
О.М. Кутняк, Л.Я. Швецова, М.З. Абдулін**

Подано результати досліджень закономірностей течії палива та окисника при варіюванні величини коефіцієнта захаращення ешелонованими стабілізаторами прохідного перетину каналів мікрофакельних пальникових пристроїв. Наведено дані математичного моделювання щодо встановлення ефектів впливу зазначеного коефіцієнта захаращення на особливості розвитку струменів палива, заглибленого в зносячий потік окислювача, характеристики циркуляційної течії в ближньому сліді стабілізаторів тощо.

Ключові слова: коефіцієнт захаращення прохідного перетину каналу, мікрофакельні пальники, сходове розташування стабілізаторів полум'я

INFLUENCE THE DEGREE OF CHANNELS BLOCKAGE OF BURNER UNITS BY ECHELONED STABILIZERS THE FLOW CHARACTERISTICS

*N.M. Fialko, Y.V. Sherenkovsky, V.G. Prokopov, N.P. Polozenko,
N.O. Meranova, S.A. Aleshko, E.I. Milko, A.A. Ozerov, O.N. Kutnyak,
L.A. Shvetsova, M.Z. Abdulin*

The investigations results of the laws of fuel and oxidant flow at varying the value of the blockage coefficient of the channel crossing of microjet burners by echeloned stabilizers are submitted. The data of mathematical modeling to establish of the effects of the impact of this the blockage coefficient on development features of fuel jet introduced in the razing oxidant stream, the characteristics of the circulation flow in the near wake of stabilizers and so on are presented.

Keywords: *factor blockage of the channel crossing, microjet burner, flame stabilizers ladder location*

УДК 631.24.243

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЯХ АГРАРНИХ ВИРОБНИЦТВ

*Г.Б. Иноземцев, доктор технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Розглянуто особливості використання високовольтних джерел в аграрних виробництвах. Сформульовано пропозиції щодо вимог до різних агротехнічних процесів.

Ключові слова: *електротехнологія, високовольтне джерело, вихідна напруга, потужність, пульсація, коронуючий електрод, біооб'єкт, рослинна продукція*

Останні дослідження яскраво свідчать про широкі можливості застосування електротехнологій для підвищення врожайності сільськогосподарських культур, одержання рослин із поліпшеними наслідуваними ознаками. Застосування електротехнологій, наприклад у рослинництві обумовлює можливості підвищення схожості та урожайності зернових культур (пшениця, ячмінь та ін.) на 15 ... 20 %, овочевих культур (томати, огірки, морква та ін.) на 12 ... 18 %.

Дослідженнями вчених Німеччини, Росії, США, Японії [4–7], а також вітчизняних [1–3] наведені вище результати базуються на обґрунтуванні

INFLUENCE THE DEGREE OF CHANNELS BLOCKAGE OF BURNER UNITS BY ECHELONED STABILIZERS THE FLOW CHARACTERISTICS

*N.M. Fialko, Y.V. Sherenkovsky, V.G. Prokopov, N.P. Polozenko,
N.O. Meranova, S.A. Aleshko, E.I. Milko, A.A. Ozerov, O.N. Kutnyak,
L.A. Shvetsova, M.Z. Abdulin*

The investigations results of the laws of fuel and oxidant flow at varying the value of the blockage coefficient of the channel crossing of microjet burners by echeloned stabilizers are submitted. The data of mathematical modeling to establish of the effects of the impact of this the blockage coefficient on development features of fuel jet introduced in the razing oxidant stream, the characteristics of the circulation flow in the near wake of stabilizers and so on are presented.

Keywords: *factor blockage of the channel crossing, microjet burner, flame stabilizers ladder location*

УДК 631.24.243

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЯХ АГРАРНИХ ВИРОБНИЦТВ

*Г.Б. Иноземцев, доктор технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Розглянуто особливості використання високовольтних джерел в аграрних виробництвах. Сформульовано пропозиції щодо вимог до різних агротехнічних процесів.

Ключові слова: *електротехнологія, високовольтне джерело, вихідна напруга, потужність, пульсація, коронуючий електрод, біооб'єкт, рослинна продукція*

Останні дослідження яскраво свідчать про широкі можливості застосування електротехнологій для підвищення врожайності сільськогосподарських культур, одержання рослин із поліпшеними наслідуваними ознаками. Застосування електротехнологій, наприклад у рослинництві обумовлює можливості підвищення схожості та урожайності зернових культур (пшениця, ячмінь та ін.) на 15 ... 20 %, овочевих культур (томати, огірки, морква та ін.) на 12 ... 18 %.

Дослідженнями вчених Німеччини, Росії, США, Японії [4–7], а також вітчизняних [1–3] наведені вище результати базуються на обґрунтуванні

активізації обмінних процесів у життєдіяльності сільськогосподарських культур під дією додаткової енергії, яку отримують біологічні об'єкти при застосуванні електротехнологій, незалежно від носія електромагнітної енергії.

Разом із тим, розвиток і застосування електротехнологій в аграрному виробництві України значною мірою стримується відсутністю випуску відповідного електротехнологічного обладнання і, в першу чергу, високовольтних джерел, які являють собою головний елемент будь-якої установки.

Дослідження останніх років переконливо демонструють підвищення інтересу до розробки електротехнологій, а також безпосередньо нових високовольтних джерел їх живлення, в т.ч. і для аграрної галузі.

Мета досліджень – аналіз сучасних високовольтних джерел, які використовують в електротехнологічних процесах різних галузей, та на основі цього визначення і формулювання вимог до них із врахуванням специфіки аграрних виробництв.

Матеріали та методика досліджень. Нині спостерігається поширення випуску різноманітних високовольтних джерел (Німеччина, Росія, США, Японія та ін.), більшість з яких побудовано за схемою (рис. 1).

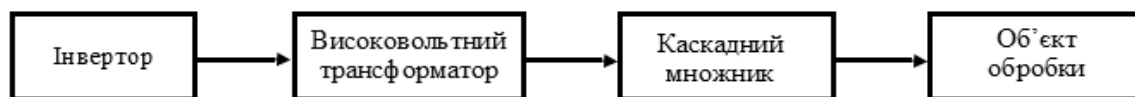


Рис. 1. Структурна схема побудови високовольтного джерела

Залежно від необхідної вихідної напруги і потужності на робочому (коронуючому) електроді застосовують одно- або двофазні схеми множення напруги, при цьому високовольтні трансформатори працюють на частоті мережі або живляться від високочастотних перетворювачів електричної енергії (рис. 2).

Разом із тим, аналіз показав, що незважаючи на широкі можливості цих установок, вони не завжди відповідають вимогам, особливо при обробці біооб'єктів (сепарація, передпосівна обробка насіння, стимуляція вирощування та захисту рослин, зберігання рослинної продукції тощо).

Нашими дослідженнями встановлено [2], що параметри обробки, вплив їх на біологічні об'єкти, в першу чергу, визначаються технологічним призначенням тієї чи іншої обробки.

Так, процес стимуляції проростання насіння різних сільськогосподарських культур із застосуванням електричного поля коронного розряду в значній мірі обумовлюється величиною електромагнітної енергії (дозою обробки), яка залежить від напруженості електричного поля:

$$W = \varepsilon_0 \varepsilon_n \frac{E^2}{2}, \quad (1)$$

де ε_0 , ε_n – відповідно діелектрична проникність повітря та насіння.

Залежність від квадрата напруженості (1) підтверджує необхідність підвищення напруги до максимально допустимих значень (45...120 кВ) у

процесах стимуляції. Разом із тим, підвищення вихідної напруги не являє собою обов'язкову вимогу в ряді інших технологічних процесах.

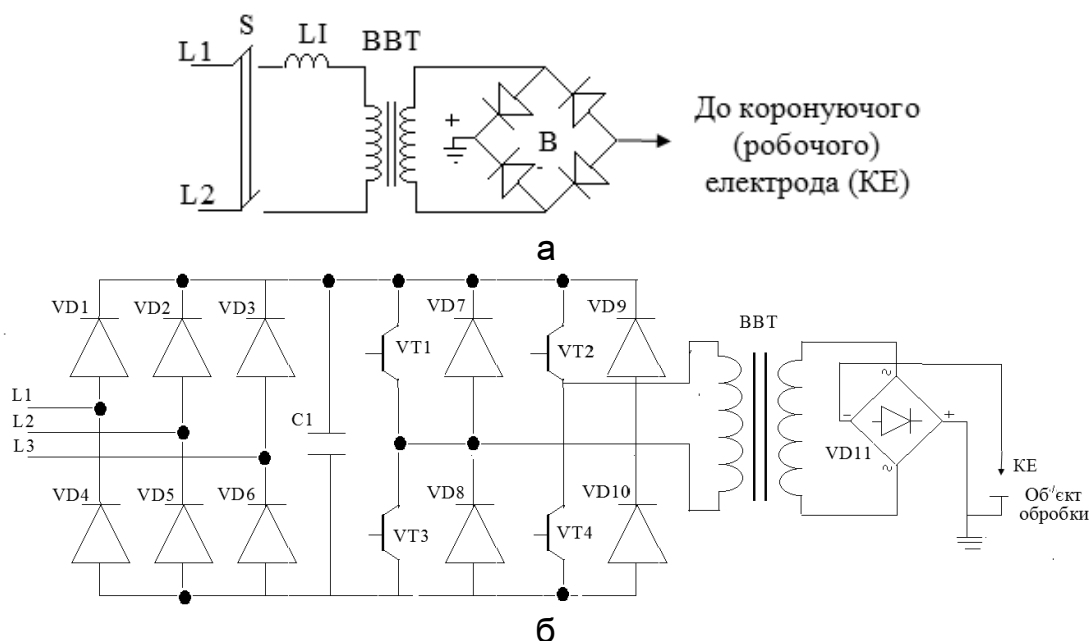


Рис. 2. Принципові схеми сучасних високовольтних джерел живлення:

а – схема, в якій високовольтний трансформатор працює на частоті мережі:

L1, L2 – електрична мережа змінного струму; S – вимикач;

LI – лінійний індуктор; BBT – високовольтний трансформатор;

B – високовольтний випрямляч; KE – коронуючий (робочий) електрод

б – схема, в якій високовольтний трансформатор (BBT) живиться від високочастотного перетворювача електричної енергії (блок VT1 – VT4, VD7 – VD10):

VD1 – VD6 – трифазний випрямляч; C1 – ємність;

VD7 – мостовий випрямляч; VT1 – VT4 – тиристори

Це можна підтвердити на прикладі сепарації насіння, що базується на явищі поляризації, де головними параметрами є електрофізичні властивості насінневих матеріалів (електропровідність, діелектрична проникність) та метод зарядки (іонна, контактна), який визначає величину електричного заряду.

При контактній зарядці заряд визначається за формулою:

$$q_{\max} = R^2 \frac{U}{r \ln \frac{2L}{r}} (1 - A \cdot 10^{-12} \frac{\varepsilon \rho_v}{V} \Delta U), \quad (2)$$

де R , r – відповідно радіус коронуючого електрода і радіус частинок; U , ΔU – відповідно напруга на електроді та різниця напруг у місці, де напруженість досягає максимальних значень; L – міжелектродна відстань; ε , ρ_v – відповідно діелектрична проникність та питомий об'ємний опір оброблюваного матеріалу; A – константа, яка залежить від геометрії та системи електродів.

При застосуванні електротехнологій у процесах зберігання продукції рослинництва, і в першу чергу аероіонізації (штучна іонізація

повітря), головним параметром є концентрація аероіонів на поверхні об'єкта обробки:

$$n = \frac{j}{q \cdot k \sqrt{\frac{2jL_k}{\varepsilon_0 k} + E^2}}, \quad (3)$$

де q , k – відповідно заряд та рухомість іона; L_k , E – відповідно міжелектродна відстань та напруженість електричного поля; j – густина струму

У деяких процесах важливим показником є "життєздатність аероіонів з позицій досягнення ними поверхні об'єктів обробки та їх кількість. Ці показники визначають за такими формулами:

$$k = \frac{I}{2\pi\varepsilon_0 E^2}; \quad (4)$$

$$N = ntV, \quad (5)$$

де t , V – відповідно час та об'єм обробки.

Аналіз виразів (2 – 5) дає підстави стверджувати про першорядність впливу електричного заряду та часу "утримання" його в процесі обробки.

При застосуванні електротехнологій в процесах обробки рослин отрутохімічними та мінеральними добривами, при кореновому та некореновому підживленні живильними розчинами, ефективність створення сприятливих умов для розвитку рослин визначається такими параметрами як швидкість руху частинок відповідних розчинів у міжелектродному просторі (відстань між коронуючим електродом та об'єктом обробки, в т.ч. і на зворотню; швидкість розтікання та всмоктування розчинів поверхнею [2, 3].

Ці параметри визначаються такими формулами.

Швидкість руху:

$$V_p = E^2 r \frac{C_0}{\eta}, \quad (6)$$

де r – радіус частинки робочих розчинів; η – в'язкість розчинів; C_0 – коефіцієнт Канингама.

Коефіцієнт корисної дії установки:

$$H = 1 - \exp(V_p - F), \quad (7)$$

де F – площа осадження (обробки).

Величина електричного заряду, яка забезпечує максимальне утримання (в часі) розчину на поверхні рослин:

$$q = 8\pi r^{3/2} \sqrt{\varepsilon_0 \sigma}, \quad (8)$$

де σ – поверхневий натяг розчину.

Параметр σ показує необхідність врахування у цьому процесі не тільки "електричних" параметрів (E , q , ε_0), але й інших, наприклад радіуса (r), в'язкості (η).

Рівномірність осадження та швидкість розтікання по поверхні рослин визначається за формулою:

$$V_{pp} = \frac{2\Delta E_m}{\pi\rho_k\eta_k r_k^3}, \quad (9)$$

де ΔE – приріст енергії; m , ρ_k , η_k , r_k – відповідно маса, густина, відстань та радіус краплин робочих розчинів.

Аналізуючи вираз (9) бачимо, що швидкість розтікання (V_{pp}) пропорційна енергії та обернено пропорційна кубу радіуса краплини. Разом з тим відомо, що енергія та радіус краплини залежить від квадрата електричного потенціалу (U^2) на робочому електроді. Таким чином можна стверджувати про важливість електричного потенціалу при цьому процесі та необхідність його врахування при розробці вимог до високовольтних джерел.

Висновки

Проведені дослідження показують не тільки визначальну роль різних електрофізичних параметрів залежно від призначення електротехнологічного процесу, але і неоднозначність впливу їх на кінцевий результат. Це підтверджує необхідність внесення суттєвих змін до вимог при розробці не тільки технологічного обладнання, але і джерел високої напруги і, а саме:

1. Розробка джерел високої напруги повинна обумовлювати підвищення коефіцієнта корисної дії енергоперетворення (ККД) до 85 – 95 %.

2. Вихідна напруга повинна регулюватися у діапазоні 20 ... 75 кВ при номінальній потужності джерела до 1 кВт і коефіцієнті пульсації < 1 %.

3. При розробці високовольтного джерела треба користуватися двома схемами:

а) високовольтний трансформатор живиться від електричної мережі промислової частоти (50 Гц);

б) високовольтний трансформатор живиться від високочастотного перетворювача електричної енергії (частота перетворення до 25 – 25 кГц).

4. Необхідно зменшити габарити та масу високовольтного джерела, особливо при застосуванні високої частоти, і в першу чергу, за рахунок магнітопроводу.

Список літератури

1. Богатина Н.И. Влияние электрических полей на растения / Н.И. Богатина, Н.В. Шейнина // Биология, химия. – 2011. – Т2 (63), №1. – С. 10 – 17.
2. Іноземцев Г.Б. Проблеми розвитку електротехнологій в аграрному виробництві України / Г.Б. Іноземцев // Енергетика і автоматика. – 2011. – №1. – С 15 – 20.
3. Іноземцев Г.Б. Електротехнології в рослинництві / Іноземцев Г.Б., Козирський В.В., Окушко О.В.; за ред.. Г.Б. Іноземцева. – К.: ТОВ АграрМедіаГруп, 2012. – 160 с.
4. Гольдина Р.А. Высоковольтные выпрямители малой мощности / Р.А. Гольдина, В.Ю. Девонисский. – М.: Энергия, 1986. – 142 с.
5. Костинов В.Г. Источники электропитания высокого напряжения / В.Г. Костинов, И.Е. Никитин. – М.: Радио и связь, 1986. – 178 с.
6. C. Scapellati High Voltage Power Supplies for Analytical instrumentation. Pittsburgh Conference, March. – 1995.

7.A. Sale Effects of high electric fields on microorganism // BiochimicaetBiophysica, Acta 163 (1). – 1988. – pp. 37 – 43.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Г.Б. Иноземцев

Рассмотрены особенности использования высоковольтных источников в аграрных производствах. Сформулированы предложения по требованиям к различным агротехническим процессам.

Ключевые слова: *электротехнология, высоковольтный источник, выходное напряжение, мощность, пульсация, коронирующий электрод, биообъект, растительная продукция*

FEATURES OF HIGH-ENERGY SOURCES IN AGRICULTURAL PRODUCTION ELECTROTECHNOLOGY

G. Inozemtsev

The feature susehighsources inagricultural production,formedproposals for the irdifferent farming processes.

Keywords: *electrotechnology, high source, output voltage, power, ripple, crownin gelectrode, biological objects, vegetable products*

УДК 628.385

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ДОСКОНАЛОСТІ БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ У ТВАРИННИЦТВІ

А.І. Чміль, доктор технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Розроблено концепція і загальні методологічні принципи аналізу еколого-біотехнічних систем у тваринництві, що дає можливість моделювати вплив різних факторів на енергетичну та екологічну ефективність систем, здійснювати порівняння і пошук енергозберігаючих режимів і технологій.

Ключові слова: *енергозбереження, електрифіковані технології, екологія, математична модель, система*

Вирішення продовольчої проблеми в Україні неможливе без подальшого збільшення виробництва тваринницької продукції, а отже

© А.І. Чміль, 2015

7.A. Sale Effects of high electric fields on microorganism // BiochimicaetBiophysica, Acta 163 (1). – 1988. – pp. 37 – 43.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Г.Б. Иноземцев

Рассмотрены особенности использования высоковольтных источников в аграрных производствах. Сформулированы предложения по требованиям к различным агротехническим процессам.

Ключевые слова: *электротехнология, высоковольтный источник, выходное напряжение, мощность, пульсация, коронирующий электрод, биообъект, растительная продукция*

FEATURES OF HIGH-ENERGY SOURCES IN AGRICULTURAL PRODUCTION ELECTROTECHNOLOGY

G. Inozemtsev

The feature susehighsources inagricultural production,formedproposals for the irdifferent farming processes.

Keywords: *electrotechnology, high source, output voltage, power, ripple, crownin gelectrode, biological objects, vegetable products*

УДК 628.385

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ДОСКОНАЛОСТІ БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ У ТВАРИННИЦТВІ

А.І. Чміль, доктор технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Розроблено концепція і загальні методологічні принципи аналізу еколого-біотехнічних систем у тваринництві, що дає можливість моделювати вплив різних факторів на енергетичну та екологічну ефективність систем, здійснювати порівняння і пошук енергозберігаючих режимів і технологій.

Ключові слова: *енергозбереження, електрифіковані технології, екологія, математична модель, система*

Вирішення продовольчої проблеми в Україні неможливе без подальшого збільшення виробництва тваринницької продукції, а отже

© А.І. Чміль, 2015

будівництва нових, реконструкції та підвищення ефективності експлуатації існуючих тваринницьких комплексів із промисловою технологією і високим рівнем електрифікації та автоматизації виробничих процесів. Нормальне функціонування таких виробничих об'єктів залежить від двох факторів: надійного забезпечення енергетичними і матеріальними ресурсами та охорони навколишнього природного середовища від згубної дії відходів цих комплексів. Оскільки ці фактори на тваринницьких комплексах взаємозв'язані і взаємозалежні, то бажано розглядати їх в еколого-біотехнічній системі «тваринницьке виробництво-обробка і утилізація відходів - навколишнє середовище».

Мета досліджень – розробка загальних методологічних принципів оцінки енергозберігаючих і екологобезпечних технологій тваринницьких підприємств на основі математичних моделей енергетичних потоків у вигляді окремих критеріїв для вирішення завдань проектування та експлуатації сільськогосподарських еколого-біотехнічних систем.

Матеріали та методика досліджень. В результаті досліджень основних вимог до системного аналізу розроблено такий план для реалізації системного підходу до оцінки енергетичної ефективності та екологічної безпеки сільськогосподарських еколого-біотехнічних систем (СЕБС): постановка задачі – визначення меж досліджуваної системи; систематизація та обробка вихідної інформації для розв'язку поставленої задачі; складання математичної моделі СЕБС та її підсистем із врахуванням прямих, зворотних, вертикальних і горизонтальних зв'язків між ними і навколишнім природним середовищем; визначення параметричних зв'язків, обмежень і допустимих зон зміни параметрів при заданій структурній схемі СЕБС; формулювання цільових (критеріальних) функціоналів для оцінки відповідності системи поставленим задачам.

Результати досліджень. Сільськогосподарську еколого-біотехнічну систему подамо у вигляді чотирьох взаємозв'язаних підсистем: підсистеми виробництва тваринницької продукції (В), де біологічні і технологічні фактори мають визначальний вплив на величину споживаних природних ресурсів і утворюваних при цьому відходів; підсистеми обробки та утилізації відходів (О), яка забезпечує обробку і знешкодження відходів перед відведенням в навколишнє природне середовище і використання відходів як сировини для виробництва корисної продукції (біогазу, білкових кормів, цінних органічних добрив); екологічної підсистеми (Е), яка охоплює природні об'єкти і процеси природокористування (грунт, водні об'єкти, повітряне середовище); підсистеми управління (У) – управляючої дії людини, математичного забезпечення, програм і алгоритмів управління.

Таким чином, під СЕБС будемо розуміти таку цілісну систему, об'єкт управління якої включає сукупність технологічних і біологічних чинників, що взаємодіють в єдиному еколого-технологічному виробничому процесі і задовольняють як виробничо-екологічним, так і екологічним вимогам [1].

Основою підтримки екологічної рівноваги СЕБС у цілому є пряма взаємна утилізація відходів, а також вироблення з відходів енергетичних (біогаз) і сировинних (кормовий білок, добрива) ресурсів.

Розробку загальної математичної моделі СЕБС будемо здійснювати на основі потоків енергії і речовини.

Нехай реальна еколого-біотехнічна система у тваринництві задана:

а) структурою взаємозв'язаних між собою елементів біологічної, технологічної та управляючої частин СЕБС;

б) складом потоків, що включають: множину вхідних потоків $-X_B, X_O, X_E$; множину вихідних потоків: Y_B – продукція тваринництва (м'ясо, молоко, яйця тощо), Y_O – продукти утилізації відходів; Y_E – продукти екосистеми (корми, вода); Z_B, Z_O, Z_E – винесення і розсіювання енергії і речовин; $P_{BO}, P_{OO}, P_{EB}, P_{OE}, P_{OB}$ – генерування відходів тваринницького виробництва, обробки та утилізації відходів і екосистеми;

в) властивостями, відношеннями і алгоритмом взаємодії підсистем В, О, Е, У;

г) метою СЕБС та її підсистем, яка полягає у виробництві максимальної кількості тваринницької продукції при мінімальних витратах енергії і речовини та екологічній безпеці технологічних процесів.

Стан СЕБС зобразимо вектором S , компоненти якого є функціями часу t і простору R . Зміна стану відбувається в результаті випадкових дій $\xi(t, R)$ та управлінських стратегій u :

$$U = (g, \lambda) \quad (1)$$

де $g \in H^K$ – схеми технологічних процесів, що входять у простір H^K (технологія годівлі, утримання тварин, схеми обробки та утилізації відходів тощо); $\lambda \in H^m$ – сукупність елементів технологічних процесів, що входять у простір H^m (машини, механізми тощо).

Формально систему зобразимо у вигляді

$$S(t) = A(S(t), U) \quad (2)$$

де $A(\cdot)$ – оператор, що визначає стан СЕБС у момент часу $t \in [t_0, T]$ за значенням вектора $S(t)$, $t \in [t, t_0]$.

Відомо, що сучасні тваринницькі підприємства є низькоефективними, енерговмісткими та екологонебезпечними.

Необхідно на множині M визначити невідповідність у швидкостях обороту енергії і речовин у виробничій і природній підсистемах, що зумовлює виникнення непогоджених еколого-біотехнічних відносин, знайти таку стратегію управління $U_0 \in M$, яка б при обмеженнях на ресурси $X_i \in X_i$ копроємність навколишнього природного середовища H_c забезпечувала максимум функціонала

$$\Phi_i = \Phi \{ \eta_i^{EE}(u_i), \eta_i^{EB}(u_i) \} \rightarrow \max, \quad (3)$$

де $\eta_i^{EE}(u_i)$ – показник біоенергетичної ефективності стратегій управління; $\eta_i^{EB}(u_i)$ – показник екологічної безпеки; Φ – оператор згорток критеріїв.

Запишемо у скалярному вигляді три системи рівнянь і нерівностей, що визначають відповідно три системи обмежень у підсистемах В, О, Е.

Підсистема В «Тваринницьке виробництво»:

$$\begin{aligned}
 \sum_{\lambda \in H^m} x_{i\lambda}^B(t) - \sum_{j=1} \sum_{\lambda \in H^m} a_{ij\lambda} X_i^B(t) - \sum_{j=1} Z_i^B(t) &= Y_i^B(t) \geq Y_0^B(t); \\
 \sum_{j \in I^B} \sum_{\lambda \in H^m} P_{i\lambda}^{OEB} X_i^B(t) &= P_i^{OB}(t) + P_i^{EB}(t); \\
 \sum_{j \in I^B} \sum_{\lambda \in H^m} P_{i\lambda}^{BOE} X_i^B(t) &= P_\gamma^{BO}(t) + P_\gamma^{BE}(t); \\
 \sum_{i \in I^K} \beta_{i\gamma}^B X_i^B(t) - \sum_{\tau=1}^t N_\lambda^B(t) &\leq N_{\lambda 0},
 \end{aligned} \tag{4}$$

де Y_0^B – обмеження на випуск тваринницької продукції; $a_{ij\lambda}$ – коефіцієнт витрат j – го виду ресурсів на виробництво i – го виду продукції на λ – му агрегаті; $P_{i\lambda}^{OEB}$ – питомий коефіцієнт споживання ресурсів; $P_{i\lambda}^{BOE}$ – питомий коефіцієнт утворення γ – тих видів відходів при виробництві i – го виду продукції на λ – му агрегаті; $\beta_{i\lambda}^B$ – коефіцієнт витрат виробничих потужностей λ – го агрегату при виробництві i – го виду тваринницької продукції; N_λ^B – приріст виробничої потужності λ – го агрегату; $N_{\lambda 0}$ – виробнича потужність λ – го агрегату.

Підсистема О «Обробка та утилізація відходів»:

$$\begin{aligned}
 \sum_{g \in H^k} x_{lg}^O(t) - \sum_{\gamma \in H^n} \sum_{g \in H^k} a_{\gamma lg} X_l^O(t) - \sum_l Z_l^O(t) &= Y_l^O(t) \geq Y_0^O(t); \\
 \sum_{\gamma \in H^n} \sum_{g \in H^k} P_{lg}^{BEO} X_l^O(t) &= P_m^{BO}(t) + P_m^{EB}(t); \\
 \sum_{\gamma \in H^n} \sum_{g \in H^k} P_{lg}^{OEB} X_l^O(t) &= P_m^{OE}(t) + P_m^{BE}(t) \leq H_c; \\
 \sum_{\gamma \in H^n} \sum_{g \in H^k} \beta_{lg}^O X_l^O(t) - \sum_{\tau=1}^t N_{lg}^O(\tau) &\leq N_{lg}^O,
 \end{aligned} \tag{5}$$

де Y_0^O – обмеження на випуск l - тої продукції; $a_{\gamma lg}$ – коефіцієнт витрат γ – го виду відходів при виробництві l – го виду продукції на g – му технологічному модулі; P_{lg}^{BEO} – питомий коефіцієнт споживання ресурсів при виробництві l – го виду продукції на g –му технологічному модулі; P_{lg}^{OEB} – питомий коефіцієнт утворених m - них видів відходів; H_c – копрємність навколишнього природного середовища; β_{lg}^O – коефіцієнт витрат виробничих потужностей λ – го агрегату при виробництві i – го виду тваринницької продукції; N_{lg}^O – приріст виробничої потужності λ – го агрегату на g -му технологічному модулі.

Підсистема Е «Екосистема»:

$$\begin{aligned}
 \sum_i x_i^E(t) - \sum_{r \in H^p} \sum_{\lambda \in H^m} a_{rg\lambda} X_i^E(t) - \sum_q Z_i^E(t) &= Y_i^E(t) \geq Y_0^E(t); \\
 Y_0^E(t) &= Y_0^{E-1}(t) + \sum_{r \in H^p} \sum_{\lambda \in H^m} a_{rg\lambda} X_i^E(t) \leq L_r^E;
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\sum_{g \in H^p} \beta_{q\lambda} x_i^E(t) - \sum_{\tau=1}^t N_{\lambda q}^E(\tau) \leq N_{\lambda q},$$

де $a_{rq\lambda}$ – коефіцієнт витрат r -го виду ресурсів при виробництві q -тої продукції на λ -му агрегаті; L_r^E – граничнодопустима доза токсиканта.

Для оцінки ефективності нової техніки, а також оптимізації режимів роботи обладнання найбільшого поширення набула методика на основі критерію приведених витрат [2]. Але в умовах інфляції та економічної кризи, коли ціни швидко зростають, дати повну економічну оцінку стало практично неможливо. В цих умовах ефективність використання енергетичних ресурсів у тваринництві та пошук енергозберігаючих технологій доцільно здійснювати за допомогою системного біоенергетичного аналізу, в основі якого лежить визначення коефіцієнта біоенергетичної ефективності і кількісним виразом якого є відношення енергії, акумульованої у продукції (енерговміст продукції), до сумарних витрат енергії на її виробництво (енергоємність продукції):

$$\eta_{БЕЕ} = \frac{E_{\Pi}}{\sum_{i=1} \sum_{j=1} C_{ij}^k X_{ij}^k}, \quad (7)$$

де E_{Π} – енерговміст тваринницької продукції, ГДж/ц; C_{ij}^k – енергетичний еквівалент k -го елемента i -го виду витрат для кожного технологічного процесу j , ГДж/(ц, м², люд. год); X_{ij}^k – величина k -го елемента i -го виду витрат для кожного технологічного процесу j , (ц, м², люд. год); i, k – види витрат і їх елементів: прямі (електроенергії, палива і мастильних матеріалів), непрямі (на виробництво кормів, племінних тварин, лікарські препарати тощо), інвестиційні (машин, споруд тощо), живої праці (робітників, службовців); j – технологічні процеси (годівля, доїння, прибирання гною, підтримання мікроклімату тощо).

Такий підхід дає змогу врахувати не тільки прямі витрати енергії і палива, але й оречевлені раніше в різних галузях народного господарства, а також витрати живої праці робітників і службовців.

Системний біоенергетичний аналіз значно перевищує можливості техніко-економічного аналізу щодо виявлення резервів невідновлюваних енергоресурсів.

Висновки

Розроблено загальні методологічні принципи аналізу енергетичної ефективності та екологічної безпеки сільськогосподарських еколого-біотехнічних систем, в основу яких покладено визначення коефіцієнта біоенергетичної ефективності, кількісним виразом якого є відношення енергії, акумульованої у продукції, до сумарних витрат енергії на її виробництво. Це дає можливість з достатньою точністю моделювати вплив різних факторів на енергетичну та екологічну ефективність системи, здійснювати порівняння і пошук енергозберігаючих режимів і технологій.

Список літератури

1. Чміль А.І. Обґрунтування оптимальної структури сільськогосподарської еколого-біотехнічної системи / А.І. Чміль // Актуальні питання фізіології рослин в аспекті екологічних проблем. – Чернівці, 1995. – С.64 – 65.
2. Якубів В.М. Потенціал енергозбереження у системі розвитку сільського господарства України / В.М. Якубів // Проблеми економіки. – 2013. – №1. С.57 – 61.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

А.И. Чмилъ

Разработаны концепция и общие методологические принципы анализа эколого-биотехнических систем в животноводстве, дающие возможность моделировать влияние различных факторов на энергетическую и экологическую эффективность систем, осуществлять сравнение и поиск энергосберегающих режимов и технологий.

Ключевые слова: *энергосбережение, электрифицированные технологии, экология, математическая модель, система*

RESEARCH OF ENERGY EXCELLENCE IN ANIMAL BIOTECHNICAL SYSTEMS

A. Chmil

It were worked out conception and general methodological principles analysis of agricultural ecology-biotechnology systems, which provide the opportunity to model an influence of different factors on energetical and ecological efficiency of system, to carry out comparison and search of power-conserving regimes and technologies.

Keywords: *energy saving, electrical technology, ecology, mathematical model, system*

ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ В МАГНІТНОМУ ПОЛІ НА УРОЖАЙНІСТЬ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

***В.В. Савченко, О.Ю. Синявський, кандидати технічних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України
В.Я. Бунько, кандидат технічних наук
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»
e-mail: vit1986@ua.fm***

Наведено результати досліджень впливу передпосівної обробки в магнітному полі цибулі-сіянки на її врожайність. Встановлено залежності врожайності від магнітної індукції і швидкості руху цибулі-сіянки в магнітному полі. Визначено найефективніші режими обробки.

Ключові слова: цибуля-сіянка, врожайність, магнітна індукція, швидкість руху

Нині встановлено, що впливом різноманітних фізичних факторів (електричне поле, магнітне поле, НВЧ, лазер тощо) на насіння при передпосівній обробці можна підвищити врожайність овочевих культур та якість продукції.

При виборі методу обробки основну роль відіграють його економічна ефективність та екологічна чистота [2]. Проведені дослідження рядом авторів показують, що найстабільніший позитивний ефект на насіння овочевих культур досягається впливом постійного магнітного поля [5].

Застосування цієї технології обумовлює необхідність встановлення механізму впливу магнітного поля на насіння, визначення оптимального режиму обробки та параметрів відповідного обладнання.

Мета досліджень – встановлення впливу передпосівної обробки в магнітному полі цибулі-сіянки на її врожайність.

Матеріали та методика досліджень. Експериментальні дослідження впливу магнітного поля на врожайність проводилися з цибулею-сіянкою сорту «Луганський». Цибулини переміщували на транспортері через магнітне поле, створюване постійними магнітами (рис.1).

Магнітну індукцію регулювали зміною відстані між магнітами в межах 0 – 0,5 Тл і вимірювали тесламетром 43205/1. Швидкість руху транспортера змінювали в межах 0 – 0,8 м/с за допомогою перетворювача частоти.

Експериментальні дослідження проводилися з використанням теорії планування експерименту [1]. Як фактори приймалися магнітна індукція (X_1) і швидкість руху цибулин (X_2), а вихідною величиною була врожайність цибулі.



Рис.1. Установка для магнітної обробки цибулі-сіянки

На основі проведених однофакторних експериментів були визначені значення верхнього, нижнього та основного рівнів фактора, які становили для магнітної індукції відповідно 0,015; 0,65 і 0,115 Тл, для швидкості руху цибулі – 0,4; 0,6 і 0,8 м/с.

При дослідженнях використовувався ортогональний центральнокмпозиційний план [1]. Досліди виконували в трикратній повторності. У кожному рядку матриці планування визначали дисперсії, а їх однорідність перевіряли за критерієм Кохрена.

Рівняння регресії знаходили у вигляді:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2. \quad (1)$$

Коефіцієнти в рівнянні регресії та їх значущість визначали за відомою методикою, а адекватність отриманого рівняння регресії оцінювалася за критерієм Фішера [1].

Результати досліджень. Обробка цибулин в магнітному полі впливає на фізико-хімічні процеси, що відбуваються в них.

Проведені дослідження показали, що під дією магнітного поля на цибулини зростає швидкість хімічних реакцій, що призводить до стимуляції рослин:

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

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

При цьому підвищується розчинність солей і кислот, що знаходяться в рослинній клітині [6]. Зростання швидкості хімічних реакцій та

розчинності солей і кислот призводить до зміни рН та біопотенціалу насіння [7].

Магнітне поле сприяє прискоренню дифузії молекул через клітинну мембрану, в тому числі кисню [8]. Це обумовлює підвищення урожайності овочевих культур та зменшення захворюваності рослин.

Під впливом магнітного поля посилюється транспорт іонів через клітинну мембрану, збільшуючи концентрацію мінеральних речовин у клітині [4].

Всі ці процеси сприяють посиленню росту та розвитку рослин, а також збільшенню врожайності цибулі.

Експериментальні залежності врожайності цибулі від магнітної індукції при швидкості руху цибулин у магнітному полі 0,4 м/с показані на рис. 2. При зміні магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл врожайність цибулі зростає, а при подальшому збільшенні магнітної індукції починає зменшуватися.

За результатами проведеного багатофакторного експерименту отримано рівняння регресії, яке у фізичних величинах має вигляд (рис.3):

$$Y = 30,97 + 393,78B - 25,833v + 166,67Bv - 2756B^2. \quad (4)$$

Встановлено, що врожайність цибулі має максимальне значення при магнітній індукції 0,065 Тл. Зменшення швидкості руху цибулини у магнітному полі до 0,4 м/с призводить до збільшення врожайності цибулі.

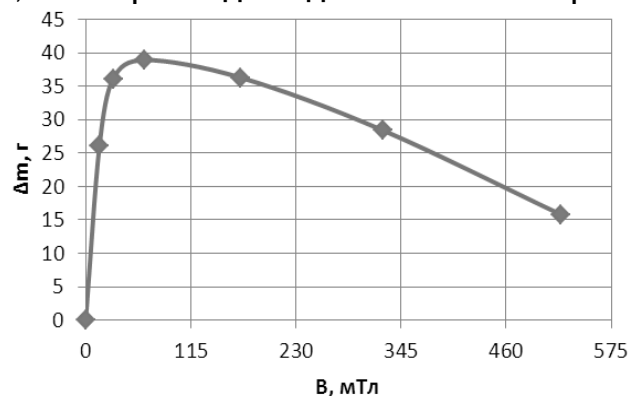


Рис. 2. Залежність врожайності цибулі від магнітної індукції

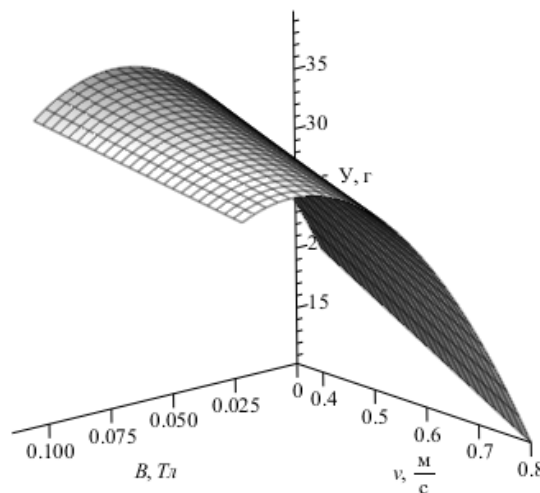


Рис.3. Зміна врожайності цибулі при обробці в магнітному полі

Висновки

Встановлено, що зміна врожайності цибулі при магнітній обробці залежить від квадрата магнітної індукції і швидкості руху цибулин у магнітному полі. Оптимальний режим обробки має місце при магнітній індукції 0,065 Тл і швидкості руху 0,4 м/с.

Список літератури

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. – М.: Наука, 1976. – 278 с.
2. Бобрышев Ф.И. Эффективные способы предпосевной обработки семян / Ф. И. Бобрышев, Г. П. Стародубцева, В. Ф. Попов // Земледелие. – 2000. – № 3. – С. 45.
3. Козырский В.В. Влияние магнитного поля на диффузию молекул через клеточную мембрану семян сельскохозяйственных культур / В.В. Козырский, В.В. Савченко, А.Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №2 (15). – С. 16–19.
4. Козырский В.В. Влияние магнитного поля на транспорт ионов в клетке растений культур / В.В. Козырский В.В. Савченко, А.Ю. Синявский // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №3 (16). – С. 18–22.
5. Кутис С.Д. Электромагнитная установка для предпосевной обработки семян / С.Д. Кутис, Т.Л. Кутис Т.Л., Е.З. Гак // Механизация и автоматизация технол. процессов в агропром. комплексе. Ч. 2. – М., 1989. – С. 35–36.
6. Савченко В.В. Вплив магнітного поля на розчинність солей / В.В. Савченко // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч.2. – С. 68–72.
7. 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.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН В МАГНИТНОМ ПОЛЕ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

В.В. Савченко, А.Ю. Синявский, В.Я. Бунько

Приведены результаты исследований влияния предпосевной обработки в магнитном поле лука-севка на его урожайность. Установлены зависимости урожайности от магнитной индукции и скорости движения лука-севка в магнитном поле. Определены наиболее эффективные режимы обработки.

Ключевые слова: *лук-севок, урожайность, магнитная индукция, скорость движения*

INFLUENCE OF PRESOWING SEEDS IN A MAGNETIC FIELD ON THE YIELD OF VEGETABLE CROPS

V. Savchenko, A. Sinyavsky, V. Bunko

The results of studies on the effect of the magnetic field on the yield of onion are described. The dependences of the yield of onion on the magnetic

induction and speed of onion sets in a magnetic field are determined. The most effective treatment regimens are identified.

Keywords: *onion, yield, magnetic induction, the speed*

УДК631.3

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОТОКОВ МОЛОКА В ВАКУУМНЫХ И НАПОРНЫХ МОЛОКОПРОВОДАХ

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

***ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства»****

e-mail: koral314@yandex.ru

Представлено разработанное ресурсосберегающее оборудование для контроля потоков молока в вакуумных и напорных молокопроводах. Предложенные устройства превосходят по массогабаритным и эксплуатационным показателям иностранные и отечественные аналоги, способствуют ресурсосбережению и снижают материалоёмкость системы доения, сокращают расход энергии, повышают производительность труда операторов в 1,5...2 раза, сохраняют качество получаемой продукции.

***Ключевые слова:* учет молока, зоотехническая и племенная работа, молочное животноводство, контрольная дойка, скорость молокоотдачи, оценка количества и качества получаемого молока**

Рост автоматизации и совершенствование технологий производства молока на фермах и комплексах молочного направления обусловил необходимость разработки и создания ресурсосберегающего оборудования для контроля потоков молока в вакуумных и напорных молокопроводах.

Цель исследований – разработка оборудования для контроля потоков молока в молокопроводах.

Материалы и методика исследований. Оборудование для контроля потоков молока в вакуумных и напорных молокопроводах включает средства косвенного и прямого измерения. К средствам косвенного измерения количества молока, поступающего по вакуумным и напорным молокопроводам, относятся устройства, основанные на измерении косвенных величин, связанных с измеряемым количеством

* © Б.П. Коршунов, А.И. Учеваткин,
Ф.Г. Марьяхин, А.Б. Коршунов, А.А. Орлов, 2015

induction and speed of onion sets in a magnetic field are determined. The most effective treatment regimens are identified.

Keywords: *onion, yield, magnetic induction, the speed*

УДК631.3

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОТОКОВ МОЛОКА В ВАКУУМНЫХ И НАПОРНЫХ МОЛОКОПРОВОДАХ

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

***ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
электрификации сельского хозяйства»****

e-mail: koral314@yandex.ru

Представлено разработанное ресурсосберегающее оборудование для контроля потоков молока в вакуумных и напорных молокопроводах. Предложенные устройства превосходят по массогабаритным и эксплуатационным показателям иностранные и отечественные аналоги, способствуют ресурсосбережению и снижают материалоёмкость системы доения, сокращают расход энергии, повышают производительность труда операторов в 1,5...2 раза, сохраняют качество получаемой продукции.

***Ключевые слова:* учет молока, зоотехническая и племенная работа, молочное животноводство, контрольная дойка, скорость молокоотдачи, оценка количества и качества получаемого молока**

Рост автоматизации и совершенствование технологий производства молока на фермах и комплексах молочного направления обусловил необходимость разработки и создания ресурсосберегающего оборудования для контроля потоков молока в вакуумных и напорных молокопроводах.

Цель исследований – разработка оборудования для контроля потоков молока в молокопроводах.

Материалы и методика исследований. Оборудование для контроля потоков молока в вакуумных и напорных молокопроводах включает средства косвенного и прямого измерения. К средствам косвенного измерения количества молока, поступающего по вакуумным и напорным молокопроводам, относятся устройства, основанные на измерении косвенных величин, связанных с измеряемым количеством

* © Б.П. Коршунов, А.И. Учеваткин,
Ф.Г. Марьяхин, А.Б. Коршунов, А.А. Орлов, 2015

молока известной функциональной зависимостью. Используются, например, зависимости, определяемые делительным коэффициентом между отделяемым с помощью делительного устройства контрольным объёмом молока, направляемым в измерительный стакан и измеряемым объёмом молока, протекающим 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.

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.

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 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.

Для индивидуального и коммерческого учёта молока создано большое количество устройств косвенного и прямого измерения. Это устройства для учёта молока типа УЗМ-1 (завод Кургансельмаш, Россия); ИУМ-1 (НПП Фемакс, Россия), Милкоскоп (фирма A/S Foss Elektrik, Дания); Тру-Тест (фирма Distributors LTD, Новая Зеландия); Вайкато (фирма Products LTD, Новая Зеландия). Эксплуатация их в производственных условиях показала, что эти устройства имеют ряд конструктивных недостатков, которые отрицательно сказываются на их метрологических, эксплуатационных и массогабаритных показателях, что ограничивает их применение.

Результаты исследований. В ФГБНУ ВИЭСХ создан комплект оборудования для контроля потоков молока в вакуумных и напорных молокопроводах животноводческих ферм и комплексов. В этот комплект входят: устройство для учёта молока при раздельном выдаивании четвертей вымени коровы УРВ-1 [1]; устройство для зоотехнического контроля молока и взятия пробы при доении УЗКМ-1 [2]; устройство для общего учёта молока и коммерческих расчётов МР-2 [3] и устройство для дифференцированного учёта молока УКМ-Бк [4].

Устройство УРВ-1 (рис. 1, 2) работает по принципу пропорционального деления случайного потока молока, поступающего от каждой четверти вымени коровы за дойку.

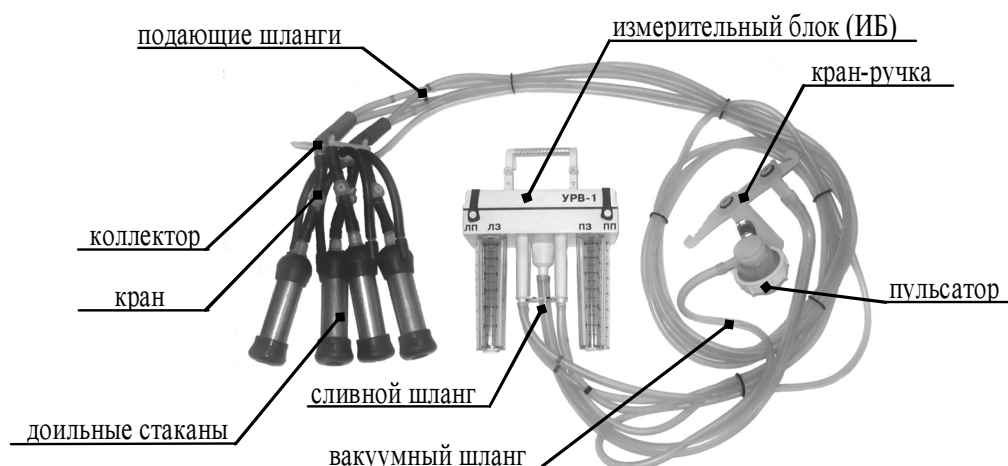


Рис. 1. Устройство для учёта молока при раздельном выдаивании четвертей вымени коровы УРВ-1

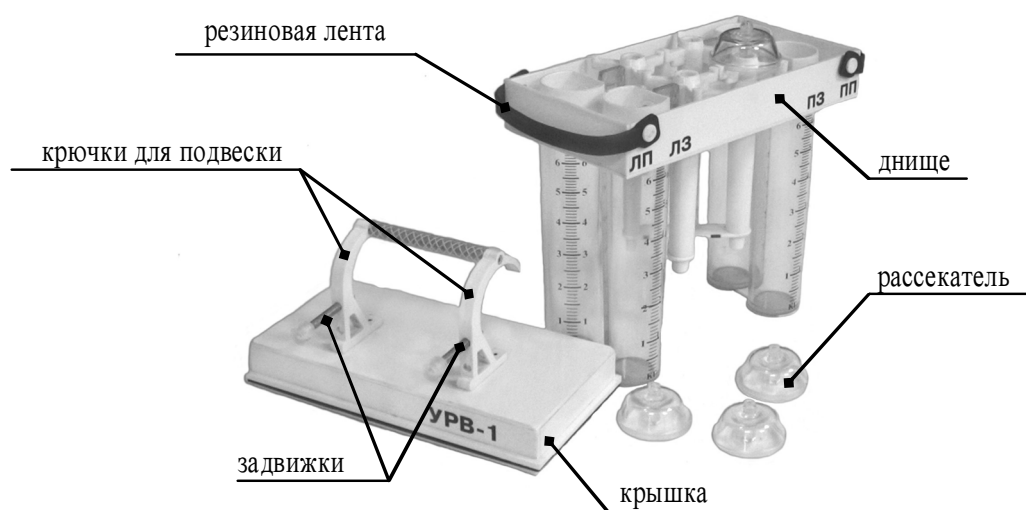


Рис. 2. Измерительный блок (ИБ)

Техническая характеристика УРВ-1

Тип	Пропорционального отбора
Максимальная пропускная способность, кг/мин	5
Рабочий вакуум, кПа	48±3
Максимальный вес контролируемого разового удоя одной четверти вымени, кг	6,5
Цена деления мерного стакана, кг	0,1
Относительная погрешность измерений, %, не более	4,5
Габаритные размеры ИБ, мм:	
длина×ширина×высота (вместе с крючками подвески)	230x130x325
Масса ИБ, кг	1,0

Устройство УЗКМ-1 (рис. 3) работает по принципу пропорционального деления случайного потока молока, поступающего от доильного аппарата.

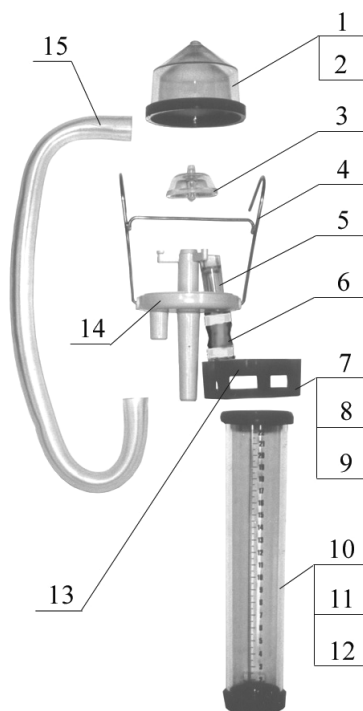


Рис. 3. Устройство для зоотехнического контроля молока и взятия пробы при доении УЗКМ-1:

1—крышка; 2—резиновый воротник крышки; 3—рассекатель с прижимом; 4—подвеска; 5—приемная трубка; 6—муфта; 7—корпус; 8—лепестковый клапан, находящийся внутри корпуса и частично перекрывающий канал для прохода молока в стакан; 9—держатель стакана; 10—колба; 11—резиновый воротник колбы; 12—резиновое донышко колбы; 13—язычок держателя; 14—основание; 15 — шланг для эвакуации молока

Техническая характеристика УЗКМ-1

Тип	Пропорционального отбора
Максимальная пропускная способность, кг/мин	5
Рабочий вакуум, кПа.....	48 ±5
Вес контролируемого разового надоя, кг.....	23
Цена деления мерного стакана, кг	0,1
Относительная погрешность измерений, %, не более	4,5
Габаритные размеры устройства в сборе, мм	490x190x120
Масса устройства, кг.....	0,6

Устройство МР-2 (рис. 4) работает по принципу прямого измерения объёмов молока путём деления его на измерительные дозы заданного объёма вращающимися роторами и последующего пересчёта их с помощью счётчика импульсов, оснащённого программным устройством с блоком электронной юстировки.

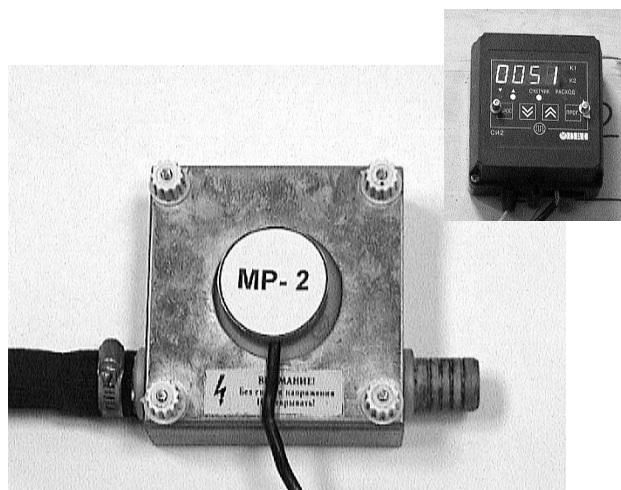


Рис. 4. Устройство для общего учёта молока и коммерческих расчётов MP-2

Техническая характеристика MP-2

Принцип действия.....	Объёмный, роторный
Контроль показаний.....	Дистанционный
Диаметр условного прохода, мм	27
Диапазон расхода м ³	4...7
Верхний предел измерений	
со счетчиком СИ-4	9999
со счетчиком СИ-8	9999 9999
Относительная погрешность при программной коррекции, %.....	До 1,0
Номинальное напряжение, В	220
Напряжение питания датчика, В	12
Тип счетчика	Программируемый, щитовой
Габариты устройства, мм.	
счетчика	96×96×80
датчика	125×130×50
Масса, кг	2
Присоединение к трубопроводу	Шланговое

Устройство УКМ-Бк (рис. 5) работает по принципу измерения скорости потока молока через измерительный блок электромагнитного действия с дистанционной выдачей сигнала, пропорционального объёму молока, прошедшего через прибор.



Рис. 5. Устройство для дифференцированного учёта молока УКМ-Бк

Техническая характеристика УКМ-Б

Тип.....	Объемный
Максимальная пропускная способность (расход), м ³ /ч	До 20
Минимально-учитываемый расход с сохранением относительной погрешности, м ³ /ч.....	1,2
Условный проход молокопроводящих каналов, мм.....	32,50
Относительная погрешность в измеряемом диапазоне, %	Не более 1,0
Тип счетного указателя	Цифровой
Верхний предел показаний счетного индикатора, л.....	9999,9
Цена деления, л.....	0,1
Присоединение к молокопроводу резьбовое или шланговое, мм	32,50
Напряжение питания, В.....	220
Габаритные размеры , мм:	
электронного блока	300×250×125
первичного преобразователя	32, 50
Масса устройства, кг	Не более 10

Выводы

Разработанные устройства превосходят по массогабаритным и эксплуатационным показателям иностранные и отечественные аналоги, способствуют ресурсосбережению и снижают материалоемкость системы доения, сокращают расход энергии, повышают производительность труда операторов в 1,5...2 раза, сохраняют качество получаемой продукции.

Устройства защищены патентами РФ и внедрены в основных сельскохозяйственных регионах России.

Список литературы

1. Пат. № 2247493 Российская Федерация. Устройство для учёта молока при раздельном выдаивании четвертей вымени коровы / Учеваткин А.И., Марьяхин Ф.Г., Коршунов Б.П., Орлов А.А.; заявл. 3.09.03; опубл. 10.03.05, Бюл. №7.

2. Пат. № 2216165 Российская Федерация. Устройство для индивидуального учёта молока и взятия средней пробы / Учеваткин А.И., Марьяхин Ф.Г., Коршунов Б.П., Коршунов А.Б., Орлов А.А.; заявл. 23.04.02; опубл. 20.11.03, Бюл. № 32.

3. Пат. № 2220564 Российская Федерация. Устройство для учёта молока в вакуумированных молокопроводах / Учеваткин А.И., Марьяхин Ф.Г., Коршунов Б.П., Коршунов А.Б.; заявл. 16.08.99; опубл. 27.05.00, Бюл. № 1.

4. Пат. № 2149537 Российская Федерация. Устройство для учета молока при выдаче его в емкости / Учеваткин А.И., Марьяхин Ф.Г., Коршунов Б.П. и др.; заявл. 16.08.99; опубл. 27.05.00, Бюл. № 15.

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОТОКІВ МОЛОКА У ВАКУУМНИХ І НАПІРНИХ МОЛОКОПРОВОДАХ

**Б.П. Коршунов, О.І. Учеваткін, Ф.Г. Мар'яхін,
О.Б. Коршунов, А.А. Орлов**

Наведено розроблене ресурсозберігаюче обладнання для контролю потоків молока у вакуумних і напірних молокопроводах. Запропоновані пристрої перевершують масогабаритні та експлуатаційними показниками іноземних та вітчизняних аналогів, сприяють ресурсозбереженню і знижують матеріаломісткість системи доїння, скорочують витрату енергії, підвищують продуктивність праці операторів в 1,5 ... 2 рази, зберігають якість одержуваної продукції.

Ключові слова: облік молока, зоотехнічна і племінна робота, молочне тваринництво, контрольне доїння, швидкість молоковіддачі, оцінка кількості та якості одержуваного молока

RESOURCE-SAVING EQUIPMENT TO CONTROL MILK FLOW IN VACUUM AND PRESSURE MILK TUBES

B. Korshunov, A. Uchevatkin, F. Maryahin, A. Korshunov, A. Orlov

The developed resource-saving equipment to control the flow of milk in the vacuum pressure and the milk tubes in the article are presents. Equipment superior in weight and size and operating characteristics of foreign and domestic counterparts, promote resource conservation and reduce consumption of materials milking systems, reduce energy consumption, increase the productivity of operators in 1,5...2 times, retain the quality of the final products.

Keywords: accounting milk, zootechnical and pedigree work, dairy farming, control milking, milking speed, assessment of the quantity and quality of milk received

АРХІТЕКТУРА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕПЛИЦЕЮ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО АНАЛІЗУ ТА РОБОТОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

***В.В. Козирський, доктор технічних наук
І.М. Болбот, кандидат технічних наук
e-mail: igor-bolbot@ukr.net***

Проаналізовано сучасні архітектури систем управління тепличними підприємствами. Наведено приклади ефективного використання нейронних мереж при вирішенні задач управління та розпізнавання образів. Запропоновано удосконалені архітектури енергоефективних систем управління тепличними комплексами із нейромережевими блоками підтримки прийняття рішень та робототехнічними засобами.

Ключові слова: нейронна мережа, робототехнічний комплекс, моніторинг, енергоефективна система, теплиця

Системи управління з класичними методами вибору параметрів мікроклімату не враховують зміни збудовуючих дій, зокрема температурних, на біотехнічний об'єкт протягом усього періоду технологічного утримання рослинної (тваринної) продукції. Застосування таких систем при забезпеченні належної продуктивності біологічного об'єкта може призвести до зменшення енергетичних витрат тільки до 5 % порівняно із системами, що синтезовані на основі інтелектуальних підходів [4, 5]. Тому, актуальною є задача таких програмно-апаратних засобів управління, які б підвищили ефективність промислового використання біологічних об'єктів.

Мета досліджень – аналіз існуючих та розробка нової архітектури системи енергоефективного управління теплицею із застосуванням нейромережевого аналізу та робототехнічного комплексу.

Матеріали та методика досліджень. Розроблені математичні та програмно-апаратні засоби інтелектуального управління промисловим пташником як біологічним об'єктом [1,6] показали вірний тренд такого підходу (рис. 1). Створені температурні фрейми та образи пройшли позитивну апробацію на виробничому об'єкті [1].

Система управління процесом утримання біологічних об'єктів складається із підсистеми прийняття рішень (ППР), яка включає блок розпізнавання образів (БРО), блок прийняття рішень (БПР), блок управління (БУ); локальної системи управління (ЛСУ), що складається з локального автоматичного управляючого пристрою (ЛАУП), виконавчих елементів (ВЕ), об'єкта управління (ОУ).

У БРО визначаються образи на основі сигналів про прогнозовані добові зміни температурних збудень $\theta_{зм}$ від гідрометеоцентру та обробки

даних від датчиків температури зовні виробничого приміщення ($\theta_{зов}$) за останні 20 год для реалізацій стаціонарних процесів та 40 год – для квазістаціонарних шляхом порівняння із образами можливих реалізацій ($\theta_б$) у базі даних.

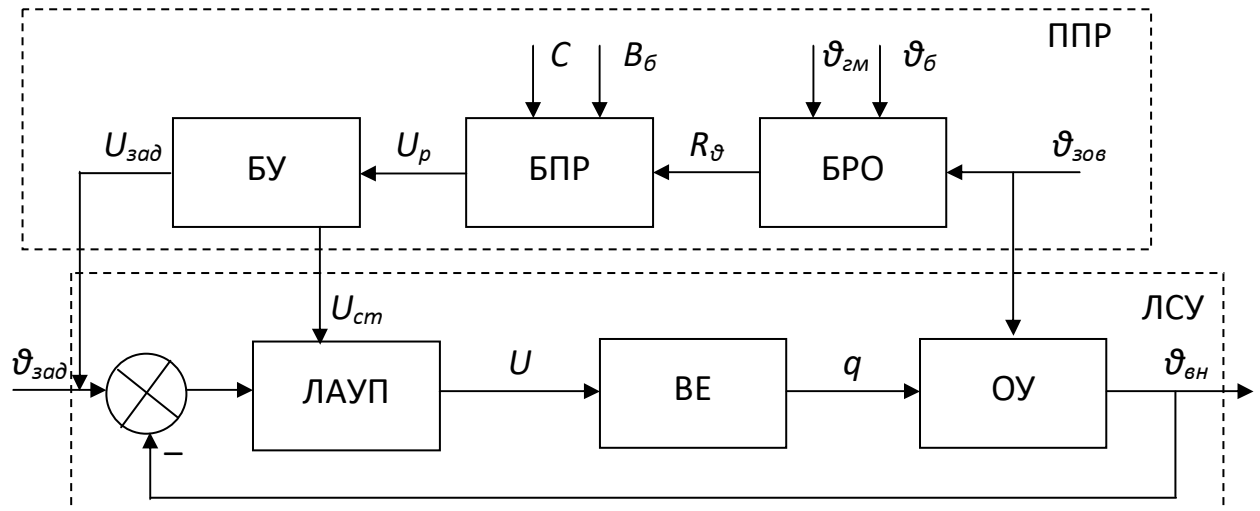


Рис. 1. Архітектура інформаційно-управляючої системи на основі статистичних рішень

Вид розпізнаного образу (R_{ϑ}) передається в БПР, у базі даних якого для кожного образу зберігаються можливі варіанти дій управління й показники якості ($B_б$) для кожної дії за продуктивністю виробництва, матеріальними та енергетичними витратами у фізичних одиницях. У БПР вводяться дані вартості складових прибутку C , з урахуванням яких методами теорії ігор і статистичних рішень здійснюється вибір оптимальної стратегії управління (U_p).

За допомогою БУ проводиться зміна заданої дії $U_{зад}$ або зміна оптимальної – для нового образу стратегії управління $U_{см}$ у ЛАУП.

Однак було встановлено, що запропонований алгоритм класифікації образів на основі статистичних рішень має певний недолік – суттєву нечутливість до початку зміни одного образу на інший, що може призвести до значних фінансових втрат. Хоча при певній стаціонарності температурних режимів ним досягається потрібна предиктивна якість.

Виходячи із необхідності адекватного аналізу початку зміни одного образу на інший, для вирішення такої задачі було запропоновано застосування математичного апарату ймовірнісних нейронних мереж.

Результати досліджень. Для встановлення початку зміни одного образу на інший використали окремий випадок Байєсівських мереж – ймовірнісні нейронні мережі (probabilistic neural networks – PNN). Це – вид нейронних мереж, що ефективно застосовуються для вирішення задач класифікації, де щільність ймовірності приналежності класам оцінюється за допомогою ядерної апроксимації [2].

При вирішенні задач класифікації виходи мережі можна з користю інтерпретувати як оцінки ймовірності чи елемент належить деякому класу. Мережа фактично вчиться оцінювати функцію щільності ймовірності.

У всіх випадках виробничого застосування нейронні мережі накопичуватимуть технологічну інформацію (базу знань) та періодично здійснюватимуть «донавчання» на нових даних (рис. 2).

Однак, навіть із врахуванням переваг нейромережевого аналізу, для досягнення енергоефективного управління тепличним комплексом необхідно усунути ряд недоліків:



Рис. 2. Ілюстрація процесу навчання НМ

– технологічна інформація на систему управління потрапляє від незначної кількості локальних стаціонарно-встановлених датчиків, створюючи можливість непередачі на блок управління, за умов дії на об’єкт збурюючих впливів техногенного та природного походження, достовірної інформації щодо реального відхилення технологічних параметрів від нормативних вимог утримання біологічних об’єктів;

– для отримання даних із усієї виробничої площі потрібна значна кількість стаціонарно-встановлених датчиків (розрахунок ведеться залежно від типу виробництва), що спричиняє значні капіталовкладення, затрати на експлуатацію та зниження надійності системи управління в цілому.

Вирішуються такі недоліки за рахунок того, що технологічні параметри стану біологічного об’єкта θ_{mex} (температура, вологість, загазованість тощо) надходять від датчиків, сприймаючі елементи яких встановлені на базі мобільного робототехнічного комплексу, який горизонтально переміщується по всій виробничій площі. Дані у режимі реального часу передаються на блок управління (рис. 3), об’єктивно забезпечуючи режим реального часу.

Така система управління функціонує так: сигнал із стаціонарних сприймаючих елементів ($\theta_{зов}$) потрапляє у блок фільтрації сигналу 2 (зовнішня температура, сонячна радіація тощо), який працює на основі перетворення Гільберта-Хуанга. Особливість роботи такого блока полягає у необхідності адекватного представлення даних із можливістю формування адаптивного базису, який функціонально залежатиме від

змістової складової самого сигналу, а не буде попередньо вибраним та незмінним, як у класичних підходах.

Очищений від зашумленості інформаційний сигнал (θ_ϕ) потрапляє у блок нейромережевого прогнозування часових рядів 3. На етапі навчання нейронної мережі вхідні дані розбиваються на такі блоки: навчальний, контрольні, тестові.

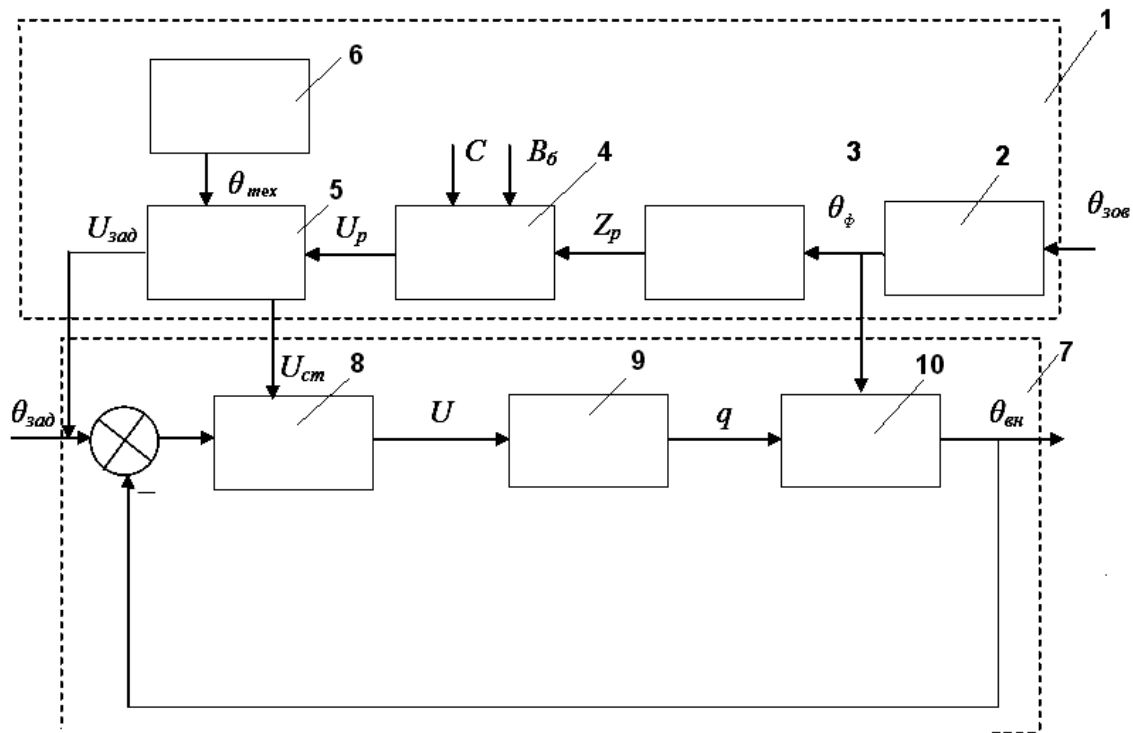


Рис. 3. Архітектура енергоефективної системи управління теплицею із застосуванням нейромережевого аналізу та робототехнічного комплексу:

1 – підсистеми прийняття рішень; 2 – блок фільтрації вхідного сигналу; 3 – блок нейромережевого прогнозування часових рядів; 4 – блок прийняття рішень; 5 – блок управління; 6 – мобільний робототехнічний блок моніторингу технологічних параметрів; 7 – локальна системи управління; 8 – локальний автоматичний управляючий пристрій; 9 – виконавчі елементи; 10 – теплиця

Прогнозоване значення природного збурення (Z_p) передається в блок прийняття рішень 4. Технологічні дані із мобільного робота передаються на блок управління 5. За допомогою блока управління 5 проводиться зміна заданої дії $U_{зад}$ або зміна оптимальної – для нового образу стратегії управління U_{cm} у локальному автоматичному управляючому пристрої 8.

Висновки

Удосконалення архітектур систем управління теплицями шляхом включення нейромережевих блоків у інтелектуальні підсистеми прийняття рішень та робототехнічних комплексів збору технологічної інформації

дозволить розширити перелік ефективно опрацьовуваних природних збурень та забезпечити підвищення прибутку від реалізації виробленої продукції при мінімізації енергетичних витрат на виробництво.

Список літератури

1. Адаптивний алгоритм оперативного управління промисловим пташником на основі теорії статистичних рішень / В.П. Лисенко, Б.Л. Головінський, В.М. Решетюк, А.А. Руденський // Науковий вісник НУБіП України. – К., 2010. – №153. – С. 235–244.
2. Гареев А.Ф. Применение вероятностной нейронной сети для задачи классификации текстов / А.Ф. Гареев // Наука и образование. – М.: Нио, 2004. – №11. – С. 105–117.
3. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.
4. Лисенко В.П. Визначення оптимальної температури у пташнику для утримання птиці яєчного напрямку з урахуванням енергоємності процесу / В.П. Лисенко, І.М. Болбот // Науковий вісник НАУ. – К., 2002. – Вип. 50. – С. 219–227.
5. Лисенко В.П. Використання методу Лагранжа для визначення оптимальних параметрів у промисловому пташнику / В.П. Лисенко, М.О. Русиняк // Електрифікація і автоматизація сільського господарства. – К., 2004. – № 2 (7). – С. 75–83.
6. Лисенко В.П. Метод оцінки ефективності роботи систем управління умовами утримання біологічних об'єктів для промислового виробництва сільськогосподарської продукції / В.П. Лисенко, Б.Л. Головінський // Аграрна наука та освіта. – К., 2005. – Т.6, № 3–4. – С. 127–133.

АРХИТЕКТУРА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛИЦЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА И РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В.В. Козырский, И.М.Болбот

Проанализированы современные архитектуры систем управления тепличными предприятиями. Приведены примеры эффективного использования нейронных сетей при решении задач управления и распознавания образов. Предложены усовершенствованные архитектуры энергоэффективных систем управления тепличными комплексами с нейросетевыми блоками поддержки принятия решений и робототехническими средствами.

Ключевые слова: робототехнический комплекс, мониторинг, энергоэффективная система, теплица

ARCHITECTURE ENERGY EFFICIENT GREENHOUSES CONTROL SYSTEM USING NEURAL AND ROBOTIC SYSTEMS

V. Kozyrskyy, I.Bolbot

Paper modern architecture management systems greenhouse enterprises. Examples of effective use of neural networks in solving problems

of governance and recognition. An improved energy efficiency management systems architecture greenhouses of neural blocks decision support and robotic systems.

Keywords: *neural network, robotic systems, monitoring, energy efficient system, greenhouse*

УДК621.316.1

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

А.И. Гавриченко, доктор технических наук

Р.П. Беликов, кандидат технических наук*

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет»

e-mail: gaalx@ukr.net

Разработана автоматизированная информационно-измерительная система контроля и прогнозирования профессиональных рисков, которая позволяет выявлять основные параметры объекта регулирования, проводить прогностические расчеты технико-экономических показателей систем управления, вовремя планировать и реализовать упреждающие научно обоснованные мероприятия.

***Ключевые слова:* система контроля и прогнозирования, профессиональные риски, математическое моделирование**

Среди материально-технических факторов роста производительности труда особое место занимает научно-технический прогресс, являющийся основой интенсификации всего общественного производства. Вместе с тем научно-технический прогресс (НТП) создает предпосылки и для улучшения условий труда, повышения технического и культурного уровня работников. Все, так называемые, “номенклатурные мероприятия” по охране труда [1,3] предполагают рост производительности труда вследствие повышения работоспособности, снижения трудоемкости, повышения эффективности использования оборудования, сокращения потерь по временной нетрудоспособности. Все виды предотвращаемых ущербов (выплаты в связи с несчастными случаями и профессиональными заболеваниями, расходы на льготы и компенсации за работу в неблагоприятных условиях труда, расходы, связанные с текучестью рабочей силы, потери от брака и др.) тоже “работают на производительность труда”.

of governance and recognition. An improved energy efficiency management systems architecture greenhouses of neural blocks decision support and robotic systems.

Keywords: *neural network, robotic systems, monitoring, energy efficient system, greenhouse*

УДК621.316.1

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

А.И. Гавриченко, доктор технических наук

Р.П. Беликов, кандидат технических наук*

ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет»

e-mail: gaalx@ukr.net

Разработана автоматизированная информационно-измерительная система контроля и прогнозирования профессиональных рисков, которая позволяет выявлять основные параметры объекта регулирования, проводить прогностические расчеты технико-экономических показателей систем управления, вовремя планировать и реализовать упреждающие научно обоснованные мероприятия.

Ключевые слова: *система контроля и прогнозирования, профессиональные риски, математическое моделирование*

Среди материально-технических факторов роста производительности труда особое место занимает научно-технический прогресс, являющийся основой интенсификации всего общественного производства. Вместе с тем научно-технический прогресс (НТП) создает предпосылки и для улучшения условий труда, повышения технического и культурного уровня работников. Все, так называемые, “номенклатурные мероприятия” по охране труда [1,3] предполагают рост производительности труда вследствие повышения работоспособности, снижения трудоемкости, повышения эффективности использования оборудования, сокращения потерь по временной нетрудоспособности. Все виды предотвращаемых ущербов (выплаты в связи с несчастными случаями и профессиональными заболеваниями, расходы на льготы и компенсации за работу в неблагоприятных условиях труда, расходы, связанные с текучестью рабочей силы, потери от брака и др.) тоже “работают на производительность труда”.

Таким образом, НТП, основу которого составляет рост производительности труда, является ведущим фактором, влияющим на уровень профессионального риска, а, следовательно, с его помощью можно эффективно управлять этими рисками.

Цель исследований – разработка автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и прогнозирования профессиональных рисков на электросетевых предприятиях агропромышленного комплекса.

Материалы и методика исследований. Для выбора приоритетных направлений в борьбе с профессиональными рисками, желательно оценить эффективность отдельных факторов. Практически это очень сложно сделать, так как проведение экспериментов в экономике государственного масштаба невозможно, а прямых данных для этого тоже не существует [4]. Вместе с тем, по прямым и косвенным признакам, нам удалось построить примерные графики изменения коэффициентов риска для двух самых весомых мероприятий: при использовании новой техники и технологий и при модернизации их. Эти графики построены для случаев проявления максимального эффекта и представлены на рис. 1.

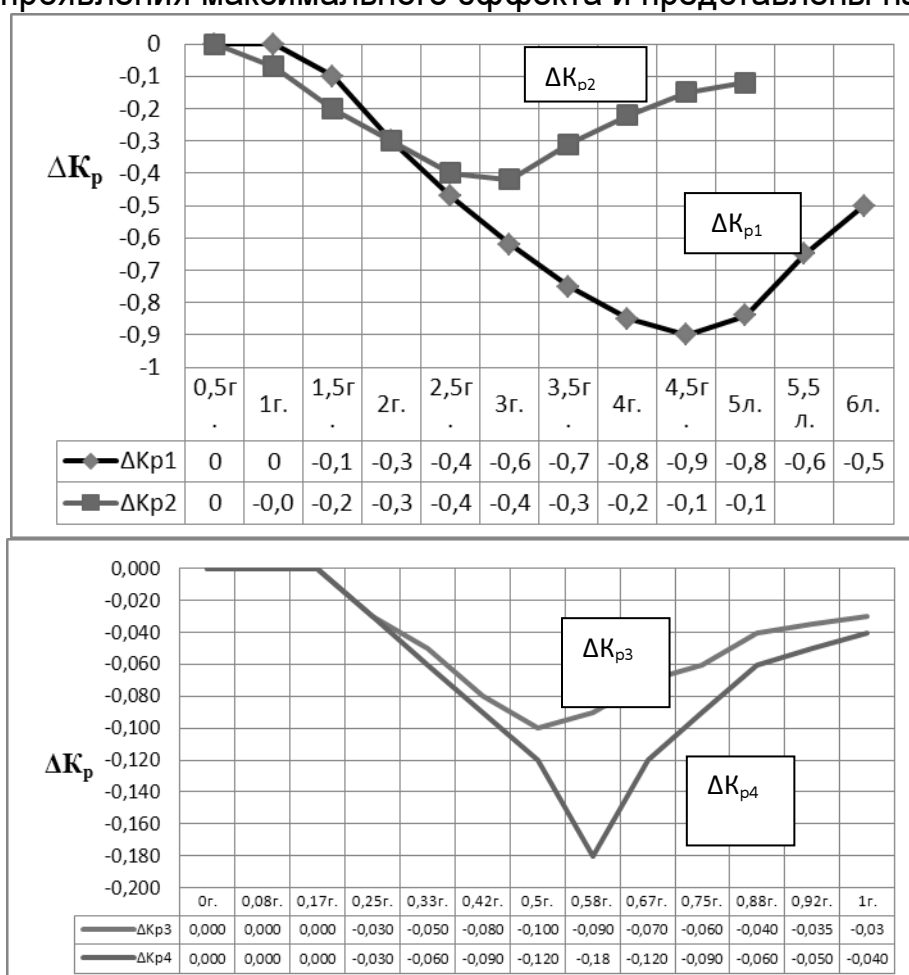


Рис.1 Графики уменьшения коэффициентов риска при использовании новой техники и технологий (ΔK_{p1}), при модернизации техники и технологий (ΔK_{p2}), при обучении (ΔK_{p3}) и аттестации рабочих мест (ΔK_{p4})

Комментируя графики, представленные на рис.1, следует отметить, что основными мероприятиями, влияющими на снижение уровня профессиональных рисков являются те из них, которые определяют технический прогресс: использование новых высокопроизводительных видов техники и технологий. Другие, широко рекламируемые мероприятия как аттестация рабочих мест, обучение и пропаганда имеют незначительный и краткосрочный эффект в той мере, в которой они оказывают влияние и на производительность труда. Поэтому основным направлением государственной политики в плане уменьшения уровня профессиональных рисков является ускоренное обновление существующего производственного оборудования и технологий. Естественно это приведет к увеличению расходов общества, но такую проблему можно решать не только за счет капитальных вложений, а и переключением амортизационных отчислений на обеспечение замены машин и оборудования, подлежащих выбытию, а также посредством использования части средств, на улучшение условий труда [4].

Результаты исследований. Для того чтобы новая техника и технологии эффективнее отражали изменения в условиях труда важно решить двоякого рода задачу. Во-первых, изменить сам процесс формирования условий труда на стадию проектирования и разработки новой техники, ибо именно здесь задаются условия труда. Во-вторых, изменить сам подход к оценке новых машин и оборудования, технологических процессов и в целом научно-технического прогресса. Он должен оцениваться не только с точки зрения чисто экономических характеристик, как это делается в настоящее время, но и с учетом социальных последствий, включая качественные изменения в условиях труда. Как показывает практика развитых стран, все эти расходы окупаются за счет повышения производительности труда, сокращения потерь рабочего времени, вызываемые производственным травматизмом и заболеваемостью, снижения текучести кадров, снижения затрат на оплату последствий неблагоприятных условий труда и т.д.

Объектом регулирования в системе является профессиональный риск, который зарождается и формируется в производственной сфере, а уровень его определяется степенью совершенства техники и технологий, компетентностью работников, уровнем комфортности условий труда, т.е. показателями, формирующими определенный уровень производительности труда (рис. 2).

В качестве датчиков, формирующих входной сигнал в систему, служит информация позволяющая проводить анализ динамики профессиональных рисков, расчет прогнозируемых уровней профессиональных рисков, обеспеченный ростом производительности труда, расчет требуемых затрат и времени достижения заданного значения профессионального риска.

Регулирующим звеном в СУПР является бюджетные средства, выделяемые министерствам и ведомствам для реализации их программ развития, часть из которых реализуется для уменьшения уровня профессиональных рисков [2].

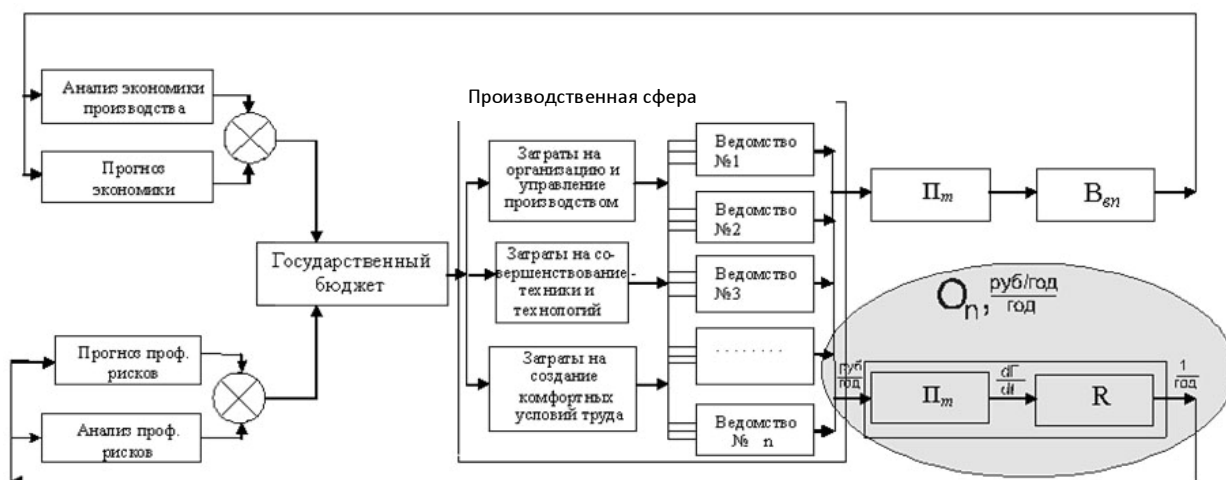


Рис.2. Функциональная схема управления профессиональным риском на федеральном уровне

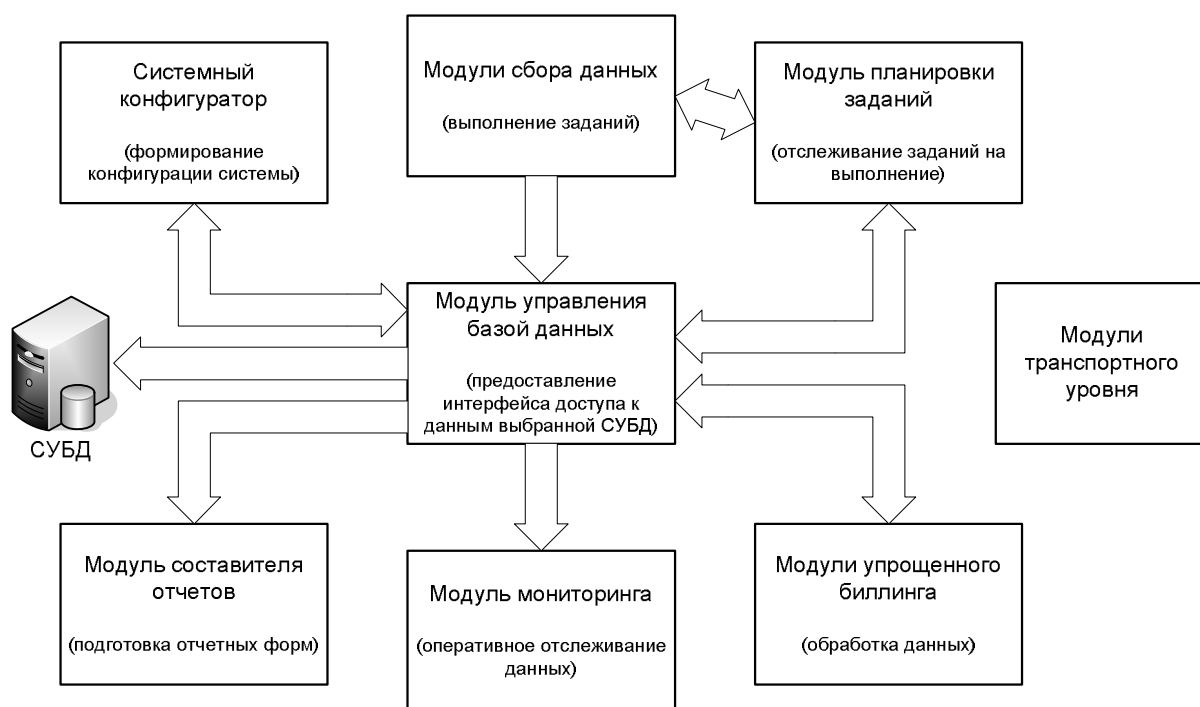


Рис. 3. Автоматизированная система сбора информации

Автоматизированная система позволяет значительно упростить и ускорить качественное выполнение ряда трудоемких задач, таких как:

- разработка технико-экономических обоснований мероприятий, заложенных в региональные и муниципальные программы снижения травматизма, для привлечения инвесторов;
- разработка инвестиционных проектов по мероприятиям, заложенным в региональные и муниципальные программы снижения травматизма;
- привлечение к сотрудничеству различных компаний для участия в мероприятиях по снижению травматизма.

В рамках автоматизированной системы можно (рис.3):

- осуществлять сбор данных автоматизировано либо вручную и предоставлять её в формализованном виде (графики, диаграммы);
- предоставлять заданную отчетность, прогнозировать профессиональные риски, систематизировать данные по разным параметрам;
- ставить и делегировать задачи на нижний уровень.

Система предназначена для организации контроля и прогнозирования профессиональных рисков на электросетевых предприятиях агропромышленного комплекса с целью осуществления коммерческих расчетов (рис. 4) [2].

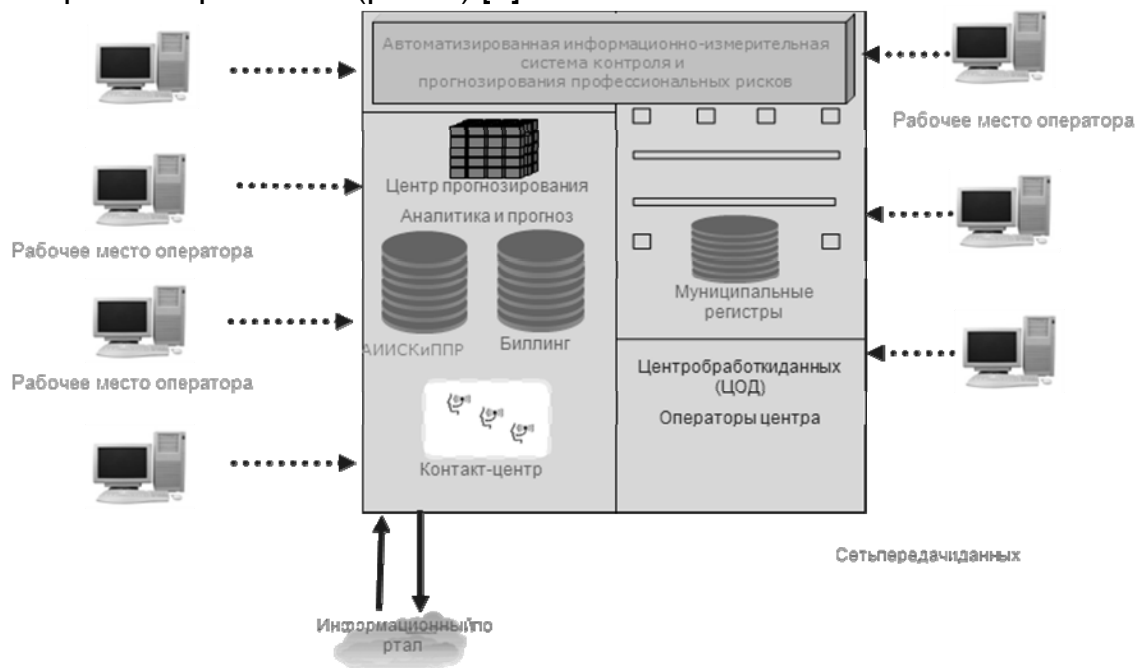


Рис. 4. Автоматизированная информационная система контроля и прогнозирования профессиональных рисков

Выполняемые функции системы:

- измерение показателей профессиональных рисков через заданный интервал интегрирования;
- сбор и передача в базу информации текущих параметров профессиональных рисков, контроллеров; хранение первичной информации об их уровне не менее 45 суток;
- формирование по запросу пользователя оперативных сообщений о профессиональных рисках в реальном масштабе времени, отчетных документов в виде графиков и таблиц, вывод на экран монитора и печать журнала событий;
- синхронизация времени всех компонентов системы с международным координированным временем спутниковой системы GPS;
- контроль работоспособности каналов связи, несанкционированного доступа к системе, единство времени в системе, отключения и восстановления питания устройств системы;
- автоматическая регистрация отказов и сбоев компонентов

системы, времени отключения и восстановления связи с каждым абонентом каналов связи и питания устройств системы;

- защита от несанкционированного доступа;
- обеспечение сохранности информации при авариях;
- передача коммерческой информации в контролирующие организации и смежным субъектам.

Выводы

Автоматизированная система является территориально распределенной многоуровневой информационно-измерительной централизованной системой реального времени и предназначена для контроля и управления профессиональными рисками на электросетевых предприятиях агропромышленного комплекса.

АСУ будет выполнять статистические функции, т.е. сбор и обработку информации за определенные временные отрезки, на основании которой производятся анализ и расчеты.

АСУ может выполнять оперативно-измерительные функции, т.е. в режиме приближенном к режиму реального времени отслеживать показатели профессиональных рисков.

Список литературы

1. Гавриченко А.И. Анализ существующих категорий рисков / А.И. Гавриченко, Р.П. Беликов // Агротехника и энергообеспечение. – Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2014. – №1. –С.504–509.
2. Гавриченко А.И. Идентификация динамики профессиональных рисков по статистическим данным / А.И. Гавриченко, Р.П. Беликов // Агротехника и энергообеспечение. – Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2014. – №1. –С.538–543.
3. Гавриченко А.И. Научные основы профессиональных рисков: монография/ А.И. Гавриченко, Р.П. Беликов. – Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2013. – 107 с.
4. Гавриченко А.И. Теоретические исследования профессиональных рисков/ А.И. Гавриченко, Р.П. Беликов // Агротехника и энергообеспечение. – Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2014. –№1. –С.521–525.

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОГО РИЗИКУ НА ЕЛЕКТРОМЕРЕЖЕВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

А.І. Гавриченко, Р.П. Бєліков

Розроблено автоматизовану інформаційно-вимірювальну систему контролю та прогнозування професійних ризиків, яка дозволяє виявляти основні параметри об'єкта регулювання, проводити прогностичні розрахунки техніко-економічних показників систем управління, вчасно планувати і реалізувати попереджувальні науково обґрунтовані заходи.

Ключові слова: *система контролю і прогнозування, професійні ризики, математичне моделювання*

DEVELOPMENT AUTOMATED INFORMATION-MEASURING SYSTEM OF MONITORING AND FORECASTING OF OCCUPATIONAL RISKS AT THE NETWORK OF AGRICULTURAL ENTERPRISES

A. Gavrichenko, R. Belikov

Developed automated information-measuring system of monitoring and forecasting of occupational risks can detect the basic parameters of the controlled system , to carry out predictive calculations of technical and economic parameters of control systems in time to plan and implement a proactive science-based activities.

Keywords: *systems for monitoring and prognozirvoaniya , seasoned professional risks , mathematical modeling*

УДК 621.3.066

ОСОБЛИВОСТІ ГАЗОПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ КОНТАКТНИХ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

І.П. Радько, кандидат технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Розглянуто особливості газоплазмового напилення для відновлення контактних вузлів електричних апаратів.

Ключові слова: *газоплазмове напилення, контактні вузли, плазма, електрична дуга, окислення, покриття*

Підвищення технологічного рівня та якості машин і обладнання – важливий резерв зростання продуктивності праці, економії всіх видів ресурсів і основа науково-технічного розвитку народного господарства України.

Інтерес до технічних можливостей газотермічного нанесення покриттів особливо зростає нині. Це пояснюється, перш за все, тими перевагами, які дають плазмові покриття в деяких галузях техніки. Плазмові методи розпилення дозволили також розробити технологію отримання дисперсних металів (порошків) і виробництво з тугоплавких металів деталей апаратів складної форми і поверхні. Плазмова технологія відкрила нові шляхи отримання високомодульних і високоміцних композиційних матеріалів, що армовані волокнами (матрицею) і застосовуються для захисту від нагрівання,

Ключові слова: *система контролю і прогнозування, професійні ризики, математичне моделювання*

DEVELOPMENT AUTOMATED INFORMATION-MEASURING SYSTEM OF MONITORING AND FORECASTING OF OCCUPATIONAL RISKS AT THE NETWORK OF AGRICULTURAL ENTERPRISES

A. Gavrichenko, R. Belikov

Developed automated information-measuring system of monitoring and forecasting of occupational risks can detect the basic parameters of the controlled system , to carry out predictive calculations of technical and economic parameters of control systems in time to plan and implement a proactive science-based activities.

Keywords: *systems for monitoring and prognozirvoaniya , seasoned professional risks , mathematical modeling*

УДК 621.3.066

ОСОБЛИВОСТІ ГАЗОПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ КОНТАКТНИХ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

І.П. Радько, кандидат технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Розглянуто особливості газоплазмового напилення для відновлення контактних вузлів електричних апаратів.

Ключові слова: *газоплазмове напилення, контактні вузли, плазма, електрична дуга, окислення, покриття*

Підвищення технологічного рівня та якості машин і обладнання – важливий резерв зростання продуктивності праці, економії всіх видів ресурсів і основа науково-технічного розвитку народного господарства України.

Інтерес до технічних можливостей газотермічного нанесення покриттів особливо зростає нині. Це пояснюється, перш за все, тими перевагами, які дають плазмові покриття в деяких галузях техніки. Плазмові методи розпилення дозволили також розробити технологію отримання дисперсних металів (порошків) і виробництво з тугоплавких металів деталей апаратів складної форми і поверхні. Плазмова технологія відкрила нові шляхи отримання високомодульних і високоміцних композиційних матеріалів, що армовані волокнами (матрицею) і застосовуються для захисту від нагрівання,

корозії, ерозійного впливу високотемпературних газових потоків, підвищення зносо- і жаростійкості тощо.

Застосовування газоплазмового напилення в електротехніці пов'язано, з одного боку, з покращенням експлуатаційних характеристик електричних апаратів за рахунок використання покриттів контактів зі спеціальними ерозієстійкими характеристиками, і з іншого – з підвищенням надійності всього електрообладнання. Повноцінне функціонування електрифікованого технологічного обладнання неможливе без використання надійних комутаційних апаратів.

Мета досліджень – розробка наукових принципів відновлення робочої поверхні контактів методом газоплазмового напилення з використанням композиційних контактних матеріалів.

Матеріали та методика досліджень. Для відновлення контакт-деталей електроапаратів є економічно ефективний метод – газоплазмове напилення. Він дозволяє отримувати покриття різноманітних типів контактних матеріалів, які характеризуються високою міцністю та електроерозійною стійкістю. Для цього може бути використано не досить складне в експлуатації, але вартісне технологічне обладнання.

Нанесення покриттів газоплазмовим розпиленням – один із методів підвищення надійності та терміну служби контактів і деталей електрообладнання та найбільш простий, економічно доцільний і розвинений процес відновлення розмірів зношених поверхонь контакт-деталей електричних комутаційних апаратів.

Результати досліджень. Газоплазмове напилювання є найперспективнішим із газотермічних методів нанесення покриттів. Суть цього методу полягає в розплавленні матеріалу, який наноситься за допомогою високотемпературного струменя, що утворюється плазмовою горілкою і наступним розпиленням розплаву потоком іонізованого газу. Електрична дуга в плазмових горілках збуджується між катодом і водоохолоджувальним соплом-анодом. Крізь електродугову камеру продувається плазмоутворюючий газ, який частково іонізується і при високій температурі виходить із сопла з великою швидкістю. Струмінь плазми, що отримується таким чином, характеризується температурою до 500–1500°C і швидкістю, що в декілька разів перевищує швидкість звуку. До високотемпературного газового потоку вводиться у вигляді порошку або проводу матеріал для напилення. Швидкість частинок при напилюванні знаходиться в межах 100 – 400 м/с.

Як плазмоутворюючі матеріали отримали поширення вода і гази: аргон, чистий азот, водень, гелій, а також їхні суміші. Продуктивність установок газоплазмового напилювання коливається від 0,5 до 10 кг/год, міцність зчеплення напиленого покриття досягає 60 МПа [1,2].

Процес газоплазмового напилювання має такі переваги: універсальність плазмового методу, що забезпечує можливість нанесення покриттів із різноманітних матеріалів; можливість збереження особливостей структури і властивостей матеріалів основи (контактотримачів електричних

апаратів); можливість нанесення покриттів на контакти складної поверхні і форми.

У подальшому передбачається створення плазмотронів потужністю 160–300 кВт, збільшення швидкості напилених частинок до 1000 м/с, досягнення продуктивності 15–20 кг/год. Це дозволить отримати покриття міцністю 150 МПа і густиною 96 %.

Покриття – це шаруватий матеріал, що складається з дуже деформованих часток, які з'єднані між собою по контактних поверхнях зварними ділянками діаметром D_x і площею $F_x = (\pi D_x^2)/4$ (рис.1). Зварні ділянки не заповнюють всю площину контакту між частками і тому міцність та густина напилених покриттів нижче міцності і густини матеріалу покриття в компактному стані. Міцність самих зварних ділянок залежить від кількості осередків захвату, які утворюються на площі F_x під час удару, деформації і твердіння часток та визначається розвитком хімічної взаємодії матеріалів у контакті [2].

У покритті можна виділити структурні елементи, що відображають процеси його формування і розділяються межами розділу з визначеними властивостями. Межа розділу між покриттям і основою 1 (див. рис.1) визначає міцність зчеплення або міцність з'єднання між ними. Властивості самого покриття обумовлюються міцністю зчеплення часток у ньому [3]. Зчеплення покриття та основи називають адгезією, а зчеплення часток у покритті – когезією. Межа розділу між шарами (пошарова границя), що отримана за один прохід розпилювача 2, виникає внаслідок неоднакової тривалості витримки між нанесенням часток у шарі та між шарами. За термін витримки пошарового нанесення поверхня раніше нанесеного шару вкривається забрудненням, окислюється і контактні процеси між нею та напиленими частками утруднюються, що і є причиною виникнення межі.

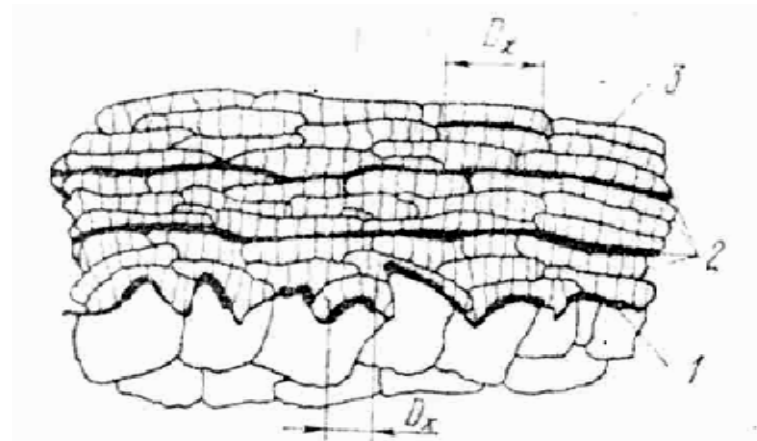


Рис. 1. Схема структури плазмового покриття:

1 – межа між поверхнею та основою; 2 – межа між шарами; 3 – межа (контактна поверхня) між частинками в шарі

Це достатньо добре видно на мікрошліфу плазмового покриття (рис. 2).

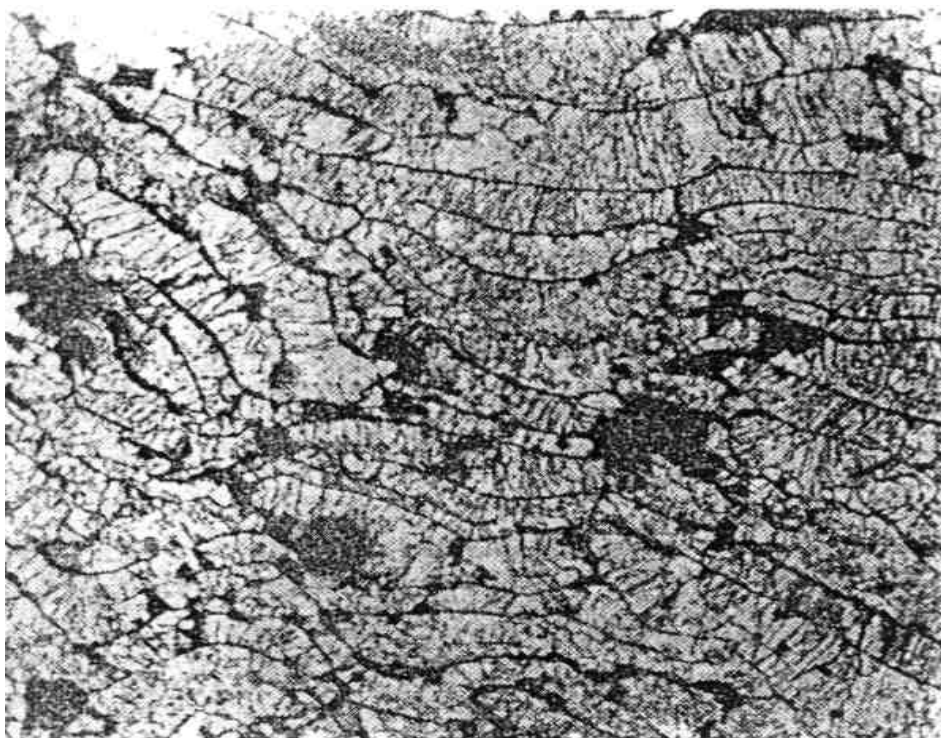


Рис. 2. Мікрошліф газоплазмового покриття.
(збільшення x1000. Матеріал 85%Cu+10%Mo+2%MoO₃+1%C+2%Ni)

Структура шару, який формується за один прохід, – неоднорідна і визначається різними розмірами і швидкістю часток, що знаходяться в периферійній та центральній зонах двофазного потоку (складається з часток та газу). Крім того, спостерігається екрануюча дія периферійних часток відносно часток центральної зони, оскільки периферійні частки при русі напилювача першими лягають на поверхню основи. Нерівномірність енергетичного стану часток і їх розмірів може бути знижена різноманітними технологічними заходами [3].

Умови утворення межі між шарами і між частками визначається тривалістю перебування в атмосфері. Залежно від розмірів і конфігурації напиленої контакт-деталі, траєкторії переміщення розпилювача “пауза” між моментами накладання шарів може досягати декількох секунд. А це час на декілька порядків більше часу паузи між взаємодією часток у шарі, що нанесений за один прохід. У період між напилюванням шарів на поверхні покриття відбувається абсорбція газів, окислення і відкладання пилоподібних фракцій розпиленого матеріалу та його оксидів.

Утворення покриття послідовним укладанням багатьох деформованих часток призводить до появи мікропорожнин, в першу чергу в місцях дотику часток. Покриття формується в атмосфері, тому мікропорожнини заповнюються газом, що погіршує властивості меж, особливо пошарових, які мають найбільшу насиченість адсорбованими газами. Внаслідок великої шорсткості покриття і надзвичайно швидкого розтікання та кристалізації часток у зоні контакту з поверхнею раніше нанесених часток залишаються дефекти і порожнини, які утворюються також внаслідок виділення газів, що були розчинені в розплавлених частках. Взаємодія з

атмосферою, адсорбція газів і осідання пилоподібних фракцій погіршує властивості пошарових меж [4].

Структура і властивості покриття залежать від гранулометричного складу напиленого порошку. Зі зменшенням розміру часток порошку поліпшується заповнення покриття – щільність його збільшується, обсяг мікропорожнин зменшується, будова покриття стає більш однорідною. Однак занадто дрібні порошки не придатні для плазмового напилення. Мінімальний розмір часток може бути встановлений з раціональних міркувань. Великі труднощі виникають при спробах транспортування та введення в розпилювач часток розміром 10 мкм і менше. Такі порошки не можуть бути заздалегідь підготовлені і вирівняні за розміром часток звичайними методами підготовки порошків, оскільки вони не просіюються на ситах. Дрібні порошки комкуються внаслідок вологості і сил молекулярного зчеплення та утворюють конгломерати з декількох часток при подаванні їх потоком транспортуючого газу. В плазмі вони можуть повністю випаровуватися або втратити швидкість, відхилитися від заданої траєкторії і не досягти напиленої поверхні контакт-деталі. Звичайно для напилення рекомендуються порошки з розміром часток 40–70 мкм.

Зчеплення між частками в покритті, а також зчеплення між основою і покриттям (відповідно когезії та адгезії) виникають у результаті дії таких сил: сил механічного зчеплення; слабких невалентних сил взаємодії (типу сил Ван-дер-Ваальса); хімічних сил з'єднання. Сили двох перших типів характеризуються нестабільністю, звичайно мають низький рівень і тому їх не слід брати до уваги при створенні покриттів. Однак при напилюванні на матеріали з сильно розвиненою поверхнею (пориста кераміка тощо) міцність механічного зчеплення покриття з підкладкою може досягати 10–15 МПа [1–2].

Хімічна взаємодія призводить до приварювання часток, яке виникає шляхом утворення осередків захвату в контакт. Чим більше осередків захвату, тим вище міцність зчеплення часток. Приварювання часток відбувається тільки при підігріванні основи до визначеної температури, яку називають температурою хімічної взаємодії. Ця температура відповідає заповненню контактної поверхні під часткою осередками захвату на 50–70 %. При такому заповненні хімічна взаємодія часток з основою відбувається досить глибоко і для їх видалення необхідно прикласти значне зусилля. При температурі підкладки менше температури хімічної взаємодії частки легко відділяються від основи, оскільки хімічна взаємодія не розвивається.

Температура хімічної взаємодії, при якій спостерігається міцне зчеплення, існує практично для всіх комбінацій матеріалів часток і основи: елементів, сплавів, простих і складних речовин. Тому, напилюванням можна наносити покриття з багатьох неорганічних матеріалів, які можуть бути розплавлені. Залежно від конкретної пари матеріалів «покриття – основа» температура підігрівання може бути як в області від'ємних температур (за 100 градусною шкалою), так і досягати 1000°C і більше [3,4].

Висновки

Отримані локальні покриття з різноманітних контактних матеріалів, які характеризуються високою міцністю та електроерозійною стійкістю методом газоплазмового напылення. Для цього використано достатньо просте в експлуатації електрообладнання.

Список літератури

1. Витязь П.А. Теория и практика газоплазменного напыления / П.А. Витязь, В.С. Иванько. – Минск: Наука и техника, 1993. – 295с.
2. Кулик А.Я. Газотермическое напыление композиционных порошков / Кулик А.Я., Борнов Ю.С., Мидхин А.С. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
3. Радько І.П. Обґрунтування технології відновлення і зміцнення контакт-деталей електричних апаратів методом газоплазмового напылення / І.П. Радько // Науковий вісник НУБіП України . – 2014. – №194, ч2. – С. 90 –93.
4. Радько І.П. Структурні особливості спечених заготовок контакт-деталей композиційних матеріалів на основі срібла / І.П. Радько // Науковий вісник ТФАТУ. – Мелітополь, 2012. – Вип.2 – С. 103–107.

ОСОБЕННОСТИ ГАЗОПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ КОНТАКТНЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

И.П. Радько

Рассмотрены особенности газоплазменного напыления для возобновления контактных узлов электрических аппаратов.

Ключевые слова: газоплазменное напыление, контактные узлы, плазма, электрическая дуга, покрытия

FEATURES FLAME SPRAYING IN RESTORATION CONTACT ASSEMBLIES ELECTRICAL APPLIANCES

I. Radko

The presented results of researches of technologies of renewal and strengthening of pin details of electric vehicles. Expediency of application of technologies of proceeding in pin details is reasonadle by the method of gasplasma evaporation.

Keywords: plasma, gas-plasma, evaporation, voltaiarc

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-35 КВ ПОСРЕДСТВОМ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

***Н.С. Сорокин, инженер
e-mail: gaalx@ukr.net***

Рассмотрены способы дистанционного контроля работы высоковольтных выключателей, предложены системы распознавания аварийных ситуаций в распределительных электрических сетях 6-35 кВ.

Ключевые слова: повышение надежности, электрическая сеть, аварийная ситуация, дистанционный контроль

Дистанционный контроль работы высоковольтных выключателей в электрических сетях 6–35 кВ является одним из основных факторов повышения надежности электроснабжения. Отсутствие оперативного дистанционного контроля приводит к тому, что потребители, в случае аварийных ситуаций, могут иметь значительные перерывы в электроснабжении, время которых может составлять 2–3 ч и более. Оно зависит от многих факторов, таких как удаленность потребителя, наличие средств связи и т.д. [1].

Цель исследований – разработка системы распознавания аварийных ситуаций в распределительных электрических сетях 6–35 кВ.

Материалы и методика исследований. Существующие способы дистанционного контроля высоковольтных выключателей условно можно разделить на две группы. Первая предполагает использование специальных передающих устройств и каналов связи, во второй нет необходимости их использования.

Способы первой группы имеют следующие недостатки, затрудняющие их использование в распределительных сетях 6–35 кВ [1]:

- большое число передающих устройств при значительном количестве контролируемых выключателей;
- снижение достоверности передаваемой информации в зависимости от метеорологических условий (снегопад, гололед и др.);
- необходимость применения кодирующих и декодирующих устройств;
- усложнение эксплуатации системы приема-передачи информации за счет значительной удаленности устройств друг от друга и от пункта сбора информации;
- необходимость в обслуживающем персонале с высокой степенью квалификации;
- высокие затраты на сооружение и эксплуатацию системы сбора информации.

Результаты исследований. Для реализации способов второй группы, не требующим передающих устройств, была разработана система распознавания аварийных ситуаций в распределительных электрических сетях напряжением 6-35 кВ, которая состоит из датчика, персонального компьютера, специального программного обеспечения.

Датчик системы имеет два блока (блок подсоединения датчика (БПД) и блок цифровой обработки данных (БЦОД)), соединенных между собой кабелем связи [3].

БПД необходим для получения сигнала об изменении тока в линии. Его можно выполнить с использованием токоизмерительных клещей. Например, можно использовать модель DT3266A. Принципиальная электрическая схема БПД приведена на рис. 1. Работа блока подробно описана в [3].

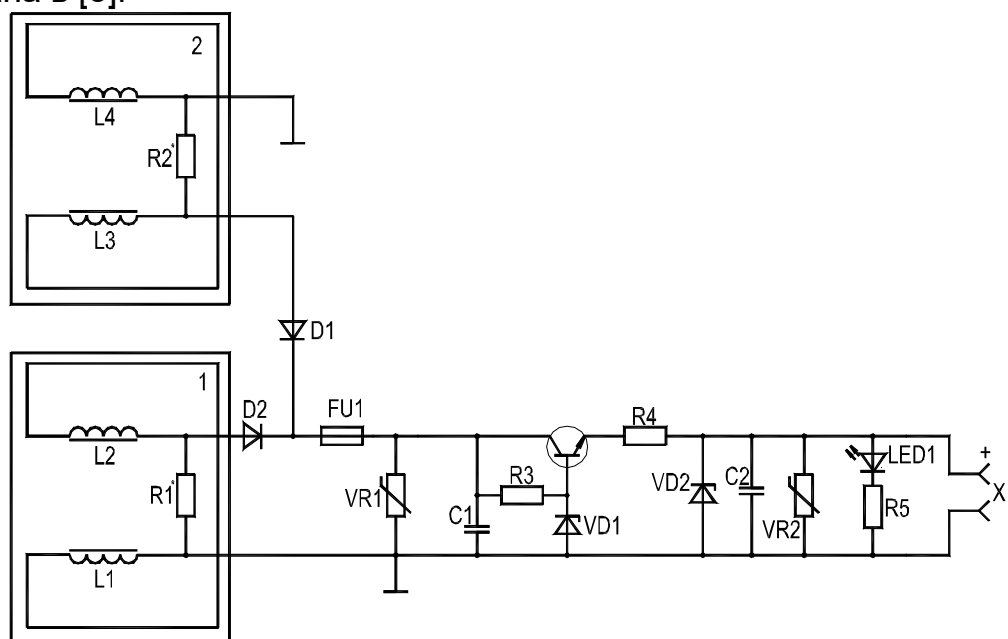


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема БПД:

$L1 - L4$ – катушки; $R1^*, R2^*, R3, R4, R5$ – резисторы;
 $C1, C2$ – конденсаторы; $VR1, VR2$ – варисторы; $VT1$ – транзистор;
 $VD1, VD2$ – стабилитроны; $LED1$ – светодиод;
 $D1, D2$ – однополупериодные выпрямители; $FU1$ – предохранитель

БПД, выполненный на основе токоизмерительных клещей, имеет ряд достоинств [3]:

- нет необходимости разрыва токовых цепей при подключении и вмешательства в токовые цепи;
- обладает большей надежностью и безопасностью за счет использования полной развязки от измеряемой цепи (соединение с токовыми цепями визуально просматривается, а не находится в закрытой коробке);
- легкость и оперативность установки;
- имеет меньшие габариты и рассеивает значительно меньше мощности, чем применяемые в настоящее время варианты устройств;

- более приемлем для подключения к сложному цифровому блоку, так как имеет дополнительную защиту от аварийных ситуаций и статического электричества.

БЦОД служит для преобразования сигналов, поступающих об изменениях параметров контролируемой линии, в импульсы, которые в дальнейшем подаются на персональный компьютер, расшифровываются, анализируются и передаются на монитор персонального компьютера, с помощью специального программного обеспечения. При этом у дежурного диспетчера появляется информация о виде произошедшей аварийной ситуации.

Принципиальная электрическая схема БЦОД приведена на рис. 2. Работа блока подробно описана в [2].

Для расшифровки и анализа, полученных от БЦОД данных, на персональном компьютере устанавливается специально разработанное программное обеспечение.

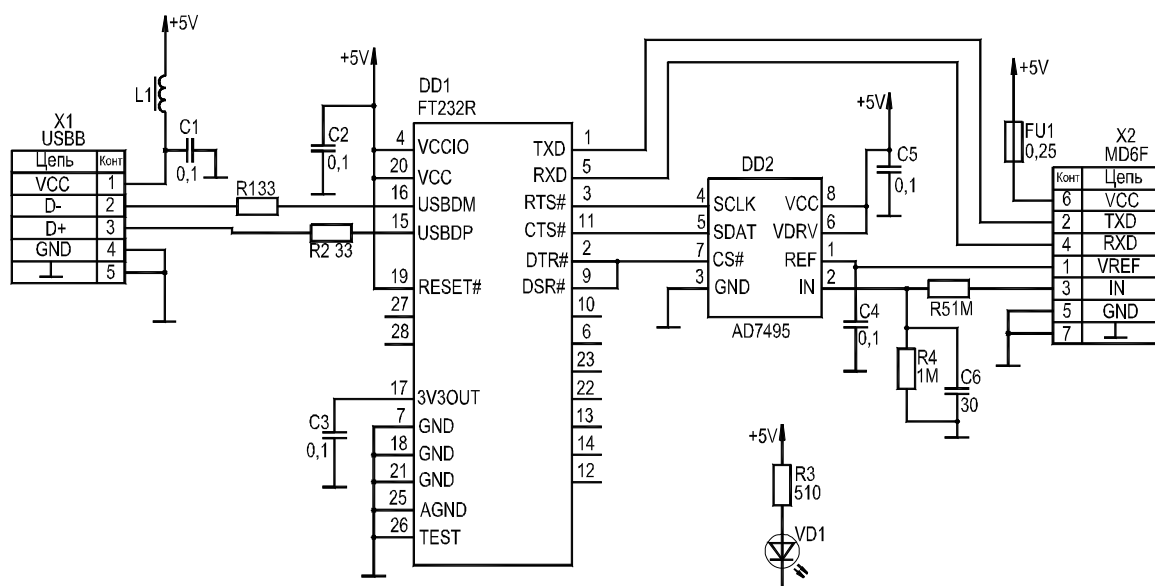


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема БЦОД:

R1-R5 – резисторы; *C1-C6* – конденсаторы; *L1* – дроссель;
FU1 – предохранитель; *VD1* – светодиод

БЦОД состоит из двух микросхем: первая – *AD7495*, вторая – *FT232R*. Сигнал БЦОД получает на входной разъем *MD6F* от БПД. Его питание осуществляется от разъема *USB*.

Выводы

Описанная система достаточно простая и недорогая. Она позволяет дистанционно осуществлять контроль работы высоковольтных выключателей, что даст возможность обслуживающему персоналу принимать меры по ликвидации аварийных ситуаций до поступления информации от потребителя. Это позволит сократить время перерыва

электрообеспечения и увеличит эффективность функционирования электрических сетей напряжением 6–35 кВ.

Список литературы

1. Виноградов А.В. Дистанционный контроль отключения выключателей в распределительных сетях / А.В. Виноградов, С.М. Астахов, Сорокин Н.С. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – №12. – С. 44–46.
2. Виноградов А.В. Распознавание аварийных ситуаций в распределительных сетях 6–35 кВ / А.В. Виноградов, Н.С. Сорокин, И.С. Сорокин // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2008. – №2(12). – С. 16–18.
3. Сорокин Н.С. Блок подсоединения датчика системы распознавания аварийных ситуаций в распределительных сетях 6–35 кВ / Н.С. Сорокин // Теоретический и научно-практический журнал «Вестник ОрелГАУ». – 2011. – №2 (11) – С. 118–120.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НАПРУГОЮ 6-35 КВ ЧЕРЕЗ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Н.С. Сорокін

Розглянуто способи дистанційного контролю роботи високовольтних вимикачів, запропоновано системи розпізнавання аварійних ситуацій в розподільних електричних мережах 6–35 кВ.

Ключові слова: підвищення надійності, електрична мережа, аварійна ситуація, дистанційний контроль

IMPROVE THE FUNCTIONING OF ELECTRICAL NETWORKS, VOLTAGE 6-35 kV BY MONITORING ELECTRICAL PARAMETERS

N. Sorokin

This article describes methods of remote monitoring of high-voltage circuit breakers, proposed recognition system emergencies in the distribution networks 6–35 kV.

Keywords: improving the reliability, electrical network, emergency, remote monitoring

ВИЗНАЧЕННЯ ОКИСЛЮВАЛЬНО-ВІДНОВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТРИВАЛОСТІ ЗБЕРІГАННЯ РОСЛИННОЇ ПРОДУКЦІЇ

*Г.Б. Іноземцев, доктор технічних наук
О.В. Окушко, кандидат технічних наук
e-mail: oaleks@ukr.net*

Встановлено можливість прогнозування лежкості рослинної продукції з соковитими тканинами за допомогою окислювально-відновного потенціалу.

Ключові слова: *зберігання, лежкість, рослинна продукція з соковитими тканинами, окислювально-відновний потенціал, технологічний процес, енергія Гіббса*

Рослинна продукція, яка закладена на тривале зберігання після обробки її, в т.ч. і електротехнологічними методами, потребує контролю всіх процесів життєдіяльності (дихання, засвоєння вуглекислого газу рослинами, обмін речовин) для зменшення можливих втрат маси і подовження збереження природної якості самого продукту.

Мета досліджень – встановлення можливості прогнозування лежкості рослинної продукції з соковитими тканинами за допомогою окислювально-відновного потенціалу.

Матеріали та методика досліджень. Процеси життєдіяльності рослинних продуктів із соковитими тканинами під час зберігання залежать від багатьох факторів (сорт, якість продукції при закладанні тощо), що впливає на проходження хімічних реакцій у самому продукті. Керуючи цими реакціями, під час зберігання можна впливати на рослину, підвищуючи її лежкість та отримуючи в кінці зберігання продукти більш високої якості.

Враховуючи те, що кожний рослинний продукт із соковитими тканинами складається з системи живих клітин, в якій постійно відбуваються процеси дихання, обміну речовин та ін., у них постійно проходять окислювально-відновні хімічні реакції.

Окислювально-відновними реакціями (ОВР) називають реакції зі зміною ступеня окислення реагуючих речовин. При цьому зміна ступеня окислення відбувається з приєднанням або із віддачею електронів. Таким чином, процеси приєднання або віддачі електронів можна розглядати як відновлення або окислення (пригнічення) хімічних процесів у клітинах рослини.

Ефективність проходження окислювальних або відновлювальних реакцій рослинних продуктів визначається величиною окислювально-відновного потенціалу (ОВП) напівреакції (редокс-пари).

Цей потенціал експериментально вимірюють за допомогою окислювально-відновного електрода, виготовленого з інертного матеріалу (платина, золото, графіт, склоуглець), який занурено у водний розчин продукту.

Результати досліджень. Відомо, що рослинні продукти характеризуються конкретним окислювально-відновним потенціалом, тобто величиною енергії, яку необхідно прикласти для того, щоб відірвати електрон від атома.

Виходячи з цього, можна стверджувати про можливість контролю (прогнозування) стану лежкості рослинного продукту з соковитими тканинами шляхом дослідження характеру зміни окислювально-відновного потенціалу, який і характеризує окислювально-відновні реакції у рослинному продукті з соковитими тканинами, що дозволить визначати стан такого продукту під час зберігання.

Під час проведення досліджень з аероіонізаційної обробки продуктів із соковитими тканинами (картопля, морква, буряк) із застосуванням активної вентиляції нами було проведено вивчення стану лежкості шляхом визначення окислювально-відновного потенціалу таких продуктів.

Вимірювання абсолютного значення окислювально-відновного потенціалу рослинного продукту є достатньо складним технологічним процесом. Тому під час досліджень значення ОВП досліджуваних редокс-пар різних продуктів нами вимірювалось і порівнювалось значення ОВП щодо найбільшої різниці потенціалів контрольного зразка необроблюваного продукту з оброблюваним.

Як вимірювальний прилад було використано рН-метр-мілівольтметр типу рН-150, який призначений для вимірювання окислювально-відновного потенціалу (E_h), температури водяних розчинів тощо. Цей прилад застосовують у виробництві. Вимірювання величини окислювально-відновних потенціалів відбувається за рахунок вимірювального перетворювача та набору електродів. На рис. 1 наведено схему вимірювання ОВП у рослинному продукті з соковитими тканинами на прикладі картоплі.

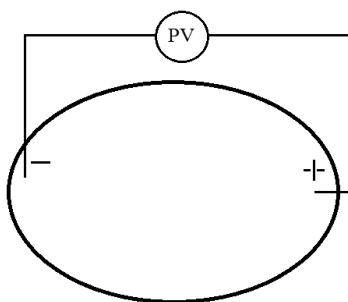


Рис. 1. Схема визначення ОВП

Контрольні вимірювання проводилися через кожні 15 діб протягом всього терміну зберігання (листопад – квітень) в умовах, близьких до виробничих.

Із кожної партії зразків (оброблених і необроблених) були взяті контрольні зразки (20 % від всіх зразків), на яких проводились контрольні вимірювання.

При проведенні нами досліджень, впливу зміни окислювально-відновних процесів рослинних продуктів з соковитими тканинами протягом тривалого періоду зберігання, було встановлено, що величина ОВП, як і маса продукції, суттєво змінюється [2]. Це зумовлено зміною інтенсивності життєдіяльності рослини у різні періоди зберігання. Поясненнями цих процесів є елементи термодинамічної теорії рушійних сил і електродних потенціалів, а саме стандартний потенціал реакції (E^0) (стандартна ЕРС реакції). Такий потенціал рівний різниці стандартних ОВП, які беруть участь у реакції редокс-пар (напівреакцій) і пов'язано зі стандартною зміною енергії Гіббса (ΔG^0). Ця величина показує зміну енергії у процесі проходження хімічної реакції і сприяє можливості протікання хімічної реакції). Вона описується так:

$$\Delta G^0 = -nFE^0, \quad (1)$$

де n – число електронів, яке бере участь в окислювально-відновлювальній реакції; F – число Фарадея.

Енергію Гіббса можна розуміти як повну хімічну енергію системи, а саме протікання ізобарно-ізотермічного процесу, який визначається двома факторами: ентальпійними, які пов'язані зі зменшенням ентальпії системи (ΔH), і ентропійними ($T\Delta S$), які обумовлені збільшенням безладу у системі внаслідок зростання її ентропії. Різниця цих термодинамічних факторів є функцією стану системи, так званим ізобарно-ізотермічним потенціалом або вільною енергією Гіббса, яка описується виразом:

$$G = U + PV - TS, \quad (2)$$

де U – внутрішня енергія системи; P – тиск; V – об'єм; T – абсолютна температура; S – ентропія.

Із термодинаміки рівноважних процесів [1] також відомо, що у випадку зміни енергії Гіббса при будь-якій хімічній реакції (< 0), то ця реакція протікає самовільно у прямому напрямку, а якщо значення ОВП (> 0) – у зворотному. Враховуючи, що окислювально-відновна реакція протікає у напрямку від сильнішого окислювача і відновника до більш слабшого, то така реакція проходить до встановлення стану рівноваги.

Висновки

Наведений вище матеріал дає всі підстави стверджувати про те, що у період відновлення рослинним продуктом (післязбиральний період та період середини лежкості) своїх природних властивостей у ньому відбувається інтенсивне поновлення хімічних процесів, а отже і пришвидшення окислювально-відновних процесів, що призводить до збільшення його ОВП (> 0). А у періоди, коли рослина знаходиться у стані спокою хімічні реакції загальмовані. (ОВП < 0). Це підтверджується отриманими експериментальними результатами (рис. 2) [2].

Крім цього, отримані нами результати дають можливість регулювання окислювально-відновних реакцій у рослинній продукції шляхом вимірювання ОВП, а отже і прогнозувати лежкість, що дає змогу зменшити втрати маси рослинним продуктом, підвищення якості та

внесення необхідних змін в агротехнічні вимоги щодо регулювання кількості обробок.

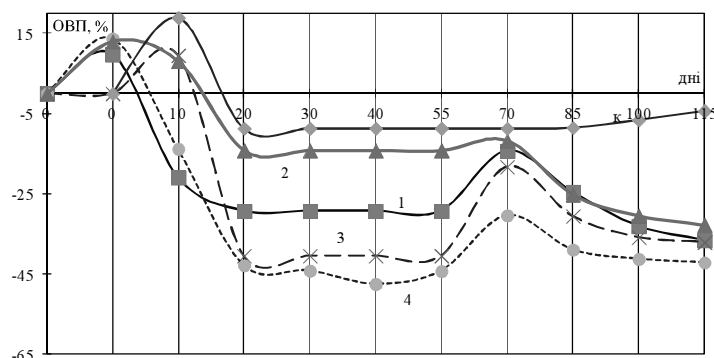


Рис 2. Зміна ОВП картоплі протягом зберігання залежно від дози обробки:

1 – 24 кВ, 100 мм; 2 – 24 кВ, 300 мм; 3 – 44 кВ, 100 мм;
4 – 44 кВ, 300 мм; К – контрольний

Список літератури

1. Базаров И. П. Термодинамика. / И.П. Базаров . – М.: Высш. шк., 1991. – 376 с.
2. Пат. № 56552 Україна, A23L3/32, G01N33/02. Спосіб прогнозування лежкості плодоовочевої продукції / Іноземцев Г.Б., Окушко О.В.; заявник Національний аграрний університет. –№a200807595; заявл. 03.06.2008; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ХРАНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОДУКЦИИ

Г.Б. Иноземцев, О.В.Окушко

Установлена возможность прогнозирования лежкости растительной продукции с сочными тканями с помощью окислительно-восстановительного потенциала.

Ключевые слова: хранение, лежкость, растительная продукция с сочными тканями, окислительно-восстановительный потенциал, технологический процесс, энергия Гиббса

DEFINITIONS REDOX POTENTIAL LONGEVITY PREDICTION FOR PLANT PRODUCTION

G. Inozemtsev, O. Okushko

The possibility of predicting keeping quality plant products with succulent tissues using redox potential.

Keywords: storage, keeping quality, plant products with succulent tissues, redox potential, process, Gibbs energy

АЛГОРИТМ И СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ УСПЕШНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ СЕКЦИОНИРУЮЩЕГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ ЛЭП

И.Н. Фомин, инженер

В.И. Зелюкин, старший преподаватель

Р.П. Беликов, кандидат технических наук

***ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный
университет»***

e-mail: gaalx@ukr.net

Для повышения надежности электроснабжения разработан алгоритм реализации контроля успешного АПВ секционирующего выключателя ЛЭП.

Ключевые слова: повышение надежности электроснабжения, дистанционный контроль успешного автоматического повторного включения секционирующего выключателя

С целью повышения надежности электроснабжения линии электропередачи (ЛЭП) и особенно протяженные делят на части (секционируют). Между ними устанавливают выключатели, которые называют секционирующими. В нормальном режиме работы эти выключатели включены и приходят в действие – отключаются при возникновении короткого замыкания (КЗ) в линии в месте их установки. И после отключения, если выключатель оборудован устройством автоматического повторного включения (АПВ), выключатель включается повторно. При этом включение может быть как успешным (КЗ неустойчивое), так и неуспешным (КЗ устойчивое), когда выключатель после повторного включения снова отключится [3].

При автоматизации электрических сетей важно знать о положении выключателя ЛЭП (включен или отключен) и совершались ли им действия по восстановлению электроснабжения при возникновении устойчивого или неустойчивого КЗ и такую информацию необходимо получать на подстанции дистанционно [4].

Цель исследований – разработка алгоритма и структурной схемы дистанционного контроля автоматического повторного включения секционирующего выключателя ЛЭП.

Материалы и методика исследований. Для своевременного получения информации об успешном АПВ секционирующего выключателя ЛЭП разработан способ, приведенный в работе [1]. Согласно этому способу в начале ЛЭП контролируют появление броска тока КЗ. С момента появления броска тока КЗ начинают отсчет времени, равный времени срабатывания защиты секционирующего выключателя, и

контролируют момент отключения броска тока КЗ. Если в момент окончания отсчета времени происходит отключение броска тока КЗ, то устанавливают факт отключения секционирующего выключателя ЛЭП. А далее, с момента отключения броска тока КЗ, начинают отсчет времени, равного времени выдержки АПВ этого выключателя. При этом контролируют появление второго броска тока. И если в момент окончания отсчета времени выдержки АПВ секционирующего выключателя появляется бросок тока, значение которого больше нормального рабочего, но меньше тока КЗ, то устанавливают факт успешного АПВ секционирующего выключателя ЛЭП [1].

Результаты исследований. Для реализации контроля успешного АПВ секционирующего выключателя ЛЭП разработан алгоритм (рис.1).

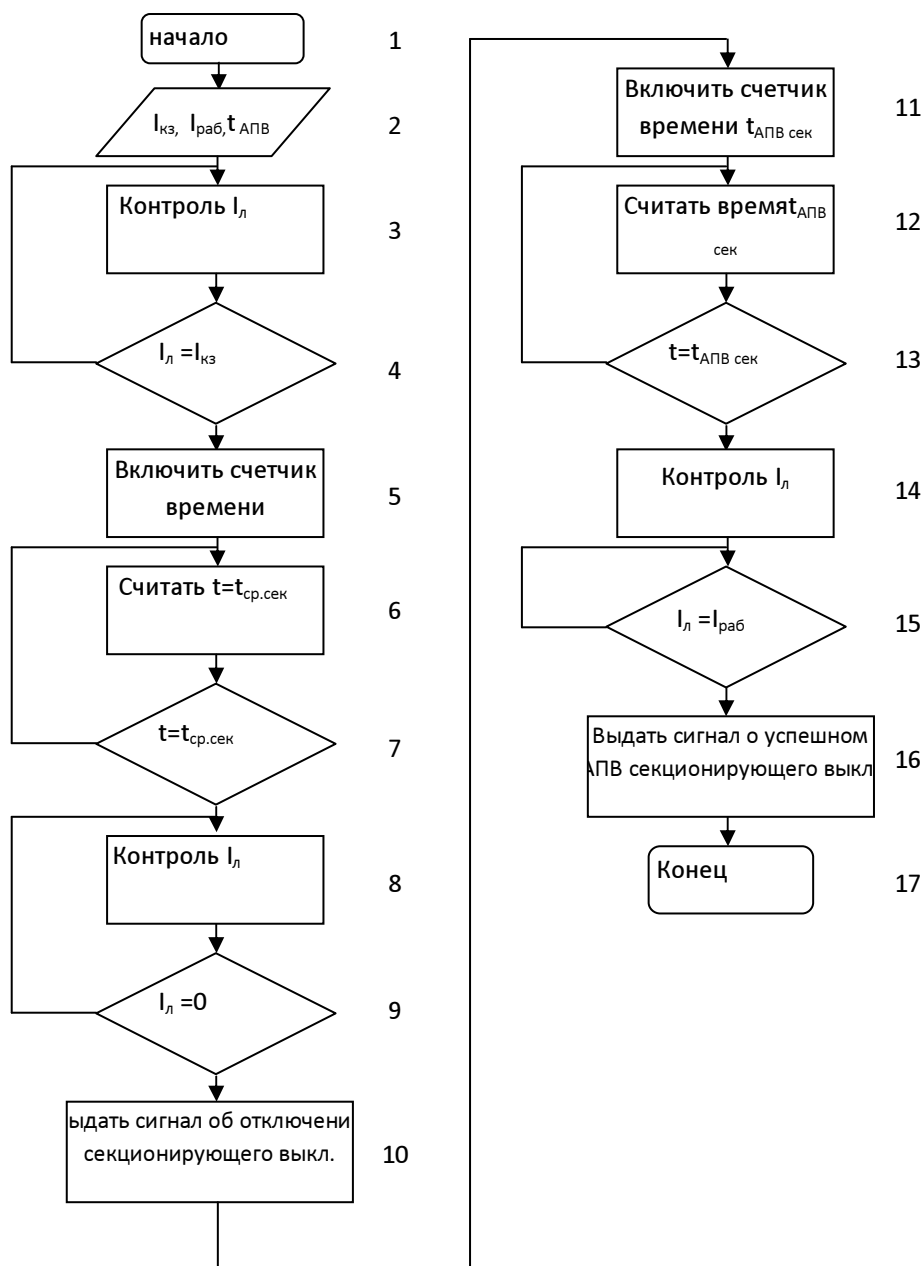


Рис. 1. Алгоритм реализации дистанционного контроля секционирующего выключателя ЛЭП

Алгоритм реализации дистанционного контроля работы секционирующего выключателя ЛЭП составлен на основе анализа диаграмм [2], отражающих различные варианты его работы. Начало алгоритма предусматривает наличие заложенных данных о величинах рабочего тока и минимального тока КЗ, времени выдержки АПВ выключателя. Начало работы алгоритма (см. рис.1) обеспечивает контроль появления тока КЗ в ЛЭП. При выполнении условия, заложенного в блоке 4 алгоритма делают вывод, что произошло КЗ и запускается счетчик времени, отсчитывая время, равное времени срабатывания защиты секционирующего выключателя ЛЭП. Это обеспечивается работой блоков 6 и 7. В момент окончания отсчета времени с помощью блоков 8 и 9 контролируется ток. При выполнении условия, заложенного в блоке 9, блоком 10 выдается сигнал об отключении секционирующего выключателя ЛЭП. А далее, включается счетчик времени блока 11 (время выдержки АПВ секционирующего выключателя). Это обеспечивается работой блоков 12 и 13. В момент окончания отсчета времени с помощью блоков 14 и 15 контролируется ток. Блоком 15 контролируется появление броска рабочего тока ЛЭП (вызванный подключением нагрузки, расположенной за секционирующим выключателем ЛЭП). При выполнении условия, заложенного в блоке 15, блоком 16 выдается сигнал об успешном АПВ секционирующего выключателя ЛЭП.

На основе алгоритма была составлена структурная схема дистанционного контроля успешного автоматического повторного включения секционирующего выключателя ЛЭП (рис. 2). Рассмотрим работу структурной схемы на примере секционирующего выключателя Q3.

В нормальном режиме контролируемый секционирующий выключатель Q3 включен. На выходе ТТ 1 есть некоторое значение выходного сигнала, обусловленное рабочим током, но недостаточное для срабатывания ДТКЗ 2 и ОДНОВИБРАТОРА 7. Поэтому наличие выходного сигнала с элемента НЕ 6 только на одном входе элемента схемы И 8 недостаточно для его срабатывания и схема находится в режиме контроля.

При КЗ в точке К значение выходного сигнала ТТ 1 будет достаточно для срабатывания ДТКЗ 2, поэтому на его выходе появится сигнал (см. рис. 2), который поступит на вход элемента ПАМЯТЬ 3 и элемента НЕ 6. С выхода элемента НЕ 6 исчезнет сигнал, поступающий до этого на первый вход элемента И 8. Сигнал, поступивший с ДТКЗ 2, запомнится элементом ПАМЯТЬ 3 и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 4, с выхода которого сигнал появится через время, равное времени срабатывания защиты секционирующего выключателя Q3. А с выхода элемента 4 сигнал поступит на вход элемента ПОВТОРИТЕЛЬ 5. Этот элемент выдаст однократный импульс, который сбросит память с элемента 3 и поступит на второй вход элемента И 8. В этот момент времени контролируемый секционирующий выключатель Q3 отключит ток КЗ и с ДТКЗ 2 исчезнет выходной сигнал. С этого момента появится выходной сигнал с элемента НЕ 6, который поступит на первый вход элемента И 8. Одновременное наличие двух входных

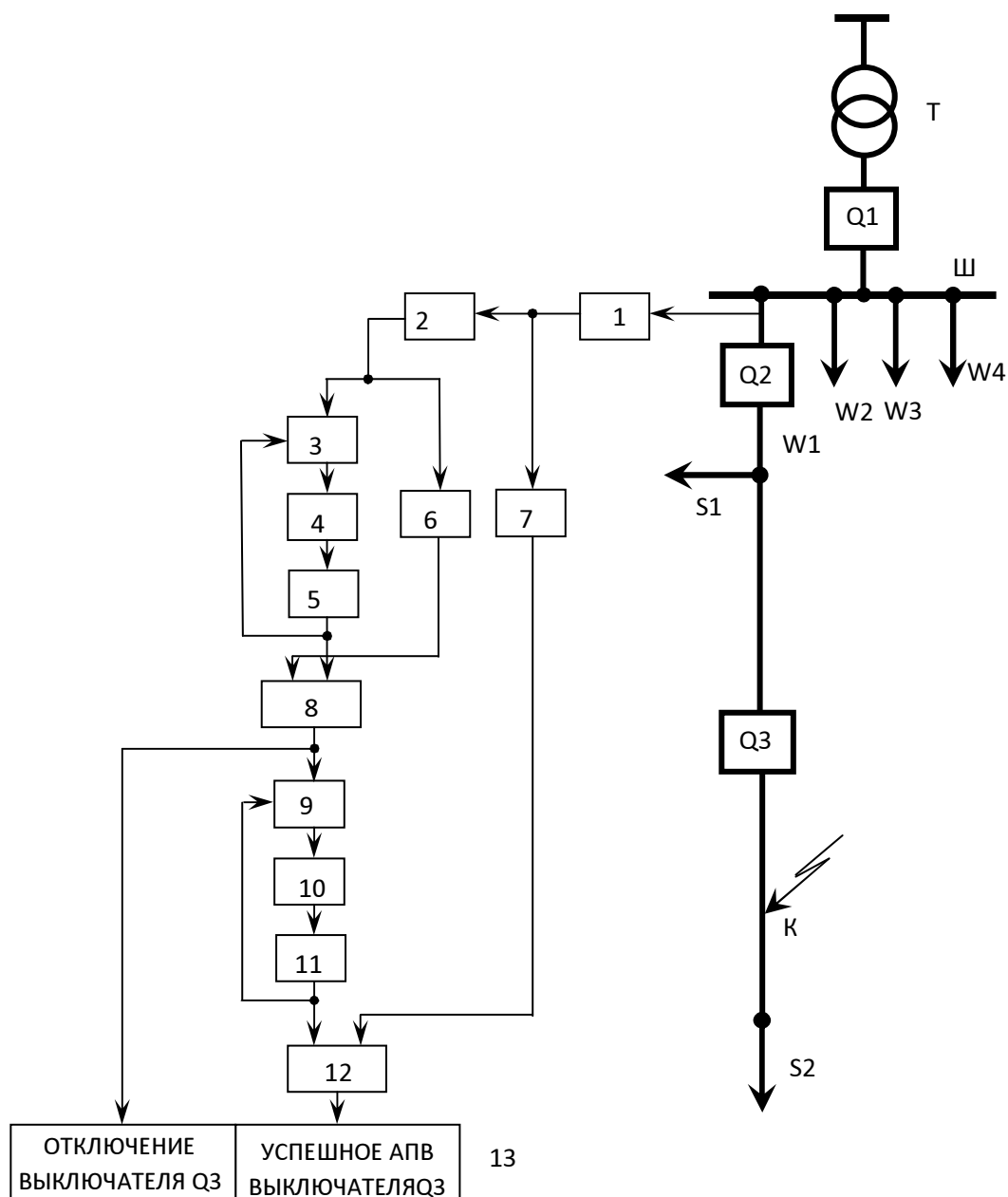


Рис. 2. Упрощенная часть схемы подстанции и структурная схема дистанционного контроля успешного АПВ выключателя Q3:

Т – силовой трансформатор; Q1 – вводной выключатель шин;
W1, W2, W3, W4 – ЛЭП; Q2 – головной выключатель ЛЭП W1; Q3 –
секционирующий выключатель ЛЭП W1; S1 и S2 – нагрузки; К – точка КЗ;
1 - трансформатор тока (ТТ); 2 - датчик тока КЗ (ДТКЗ); 3, 9 - ПАМЯТЬ;
4, 10 – ЗАДЕРЖКА; 5, 11 – ПОВТОРИТЕЛЬ; 6 - НЕ; 7 – ОДНОВИБРАТОР;
8, 12 – И; 13 - регистрирующее устройство (РУ)

сигналов на входе элемента И 8 приведет к появлению его выходного сигнала, который поступит на вход элемента ПАМЯТЬ 9 и в РУ 13. При этом в РУ 13 появится информация о том, что произошло отключение секционирующего выключателя ЛЭП. Сигнал, поступивший на вход элемента 9, запомнится им и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 10, с выхода

которого сигнал появится через время, равное времени выдержки АПВ секционирующего выключателя Q3. По истечении указанного времени сигнал с элемента 10 поступит на вход элемента ПОВТОРИТЕЛЬ 11, этот элемент выдаст однократный импульс, который сбросит память с элемента 9 и поступит на первый вход элемента И 12. Одновременно с этим выключатель Q3 включится. Причем, если включение будет успешное, то на выходе ТТ 1 появится сигнал, недостаточный для срабатывания ДТКЗ 2, но достаточный для срабатывания элемента ОДНОВИБРАТОР 7. Появившийся выходной сигнал с ОДНОВИБРАТОРА 7 поступит на второй вход элемента И 12. Это приведет к появлению его выходного сигнала, который поступит в РУ 13 и обеспечит появление там информации о том, что произошло успешное АПВ секционирующего выключателя ЛЭП Q3.

Если же КЗ в точке К будет устойчивым, то выключатель Q3 после повторного включения снова отключится. При этом на выходе ДТКЗ 2 снова появится сигнал. Это приведет схему в действие и она продублирует поступление сигнала в РУ 13, обеспечивающего наличие информации в нем об отключении выключателя Q3.

Выводы

Таким образом, с помощью рассмотренной структурной схемы на основе разработанного алгоритма можно разработать устройство, которое позволит получать на подстанции своевременную информацию об отключении и успешном АПВ секционирующих выключателей ЛЭП.

Список литературы

1. Пат. № 2337453 Российская Федерация, МПК H02 J 13/00. Способ контроля отключения и успешного автоматического повторного включения секционирующего выключателя в линии кольцевой сети / Суров Л.Д., Фомин И.Н., Шумарин В.Ф. заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Орловский Государственный Аграрный Университет. – №2007139420/09; заявл. 23.10.2007; опубл. 27.10.2008, Бюл. №30.
2. Суров Л.Д. Контроль успешного автоматического повторного включения секционирующих выключателей в линии кольцевой сети / Л.Д. Суров, И.Н. Фомин // Вестник ОрелГАУ. – 2010. – №1(22). – С. 23–25.
3. Фомин И.Н. Дистанционный контроль над действиями выключателей в кольцевой сети / И.Н. Фомин, Л.Д. Суров // Вестник ОрелГАУ. – 2012. – №5(38). – С.163–166.
4. Фомин И.Н. Структурная схема контроля отключения выключателей в секционированной линии электропередачи / И.Н. Фомин, Д.Н. Фомин // Особенности технического оснащения современного сельскохозяйственного производства: [сборник]: Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых, 24–25 апреля 2012 г./ под ред. к.с.х-н, В.А. Стебакова, к.т.н. В.В. Гончаренко. – Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2012.–С. 405– 409.

АЛГОРИТМ ТА СТРУКТУРНА СХЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ УСПІШНОГО АВТОМАТИЧНОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕННЯ СЕКЦІОНУВАЛЬНОГО ВИМИКАЧА ЛЕП

І.М. Фомін, В.І. Зелюкін, Р.П. Бєліков

Для підвищення надійності електропостачання розроблено алгоритм реалізації контролю успішного АПВ секціонуального вимикача ЛЕП.

Ключові слова: підвищення надійності електропостачання, дистанційний контроль успішного автоматичного повторного включення секціонуального вимикача

ALGORITHM AND THE BLOCK DIAGRAM REMOTE CONTROL SUCCESSFUL AUTOMATIC RECLOSING SECTIONALIZING CUTOUTS POWER LINES

I. Fomin, V. Zelyukin, R. Belikov

In order to increase reliability of power supply control of the implementation of the algorithm of successful reclosing partitioned switch lines.

Keywords: improving the reliability of power supply , remote control of a successful auto-reclose circuit breaker partitioned

УДК 536(075.8)

К ВОПРОСУ О ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ

***В.Г. Демченко, кандидат технических наук
Институт технической теплофизики НАН Украины
Б.Х. Драганов, доктор технических наук
Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины
e-mail: nni.elektrik@gmail.com***

Выполнен термодинамический анализ фазовых переходов, в том числе при переходах пар – жидкость (жидкость – пар). Приведен химический потенциал Гиббса для определения процесса массообмена в гетерогенных средах.

Ключевые слова: фазовый переход, гетерогенная система, химический потенциал, тепломассообмен, правило фаз Гиббса, теорема Дюгена, пористая среда, энтропия

Фазовые переходы имеют место в большинстве теплофизических и химико–физических явлениях. Поэтому в настоящее время исследования фазовых переходов выделились в обширную интересную область науки. Условия (температура и давление), при которых вещество существует в

Для підвищення надійності електропостачання розроблено алгоритм реалізації контролю успішного АПВ секціонуального вимикача ЛЕП.

Ключові слова: підвищення надійності електропостачання, дистанційний контроль успішного автоматичного повторного включення секціонуального вимикача

ALGORITHM AND THE BLOCK DIAGRAM REMOTE CONTROL SUCCESSFUL AUTOMATIC RECLOSING SECTIONALIZING CUTOUTS POWER LINES

I. Fomin, V. Zelyukin, R. Belikov

In order to increase reliability of power supply control of the implementation of the algorithm of successful reclosing partitioned switch lines.

Keywords: improving the reliability of power supply , remote control of a successful auto-reclose circuit breaker partitioned

УДК 536(075.8)

К ВОПРОСУ О ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ

***В.Г. Демченко, кандидат технических наук
Институт технической теплофизики НАН Украины
Б.Х. Драганов, доктор технических наук
Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины
e-mail: nni.elektrik@gmail.com***

Выполнен термодинамический анализ фазовых переходов, в том числе при переходах пар – жидкость (жидкость – пар). Приведен химический потенциал Гиббса для определения процесса массообмена в гетерогенных средах.

Ключевые слова: фазовый переход, гетерогенная система, химический потенциал, тепломассообмен, правило фаз Гиббса, теорема Дюгена, пористая среда, энтропия

Фазовые переходы имеют место в большинстве теплофизических и химико–физических явлениях. Поэтому в настоящее время исследования фазовых переходов выделились в обширную интересную область науки. Условия (температура и давление), при которых вещество существует в

различных фазах (газ, жидкость или твердое тело), представляют в виде фазовой диаграммы [1, 6].

Цель исследований – анализ фазовых переходов на основе термодинамического метода.

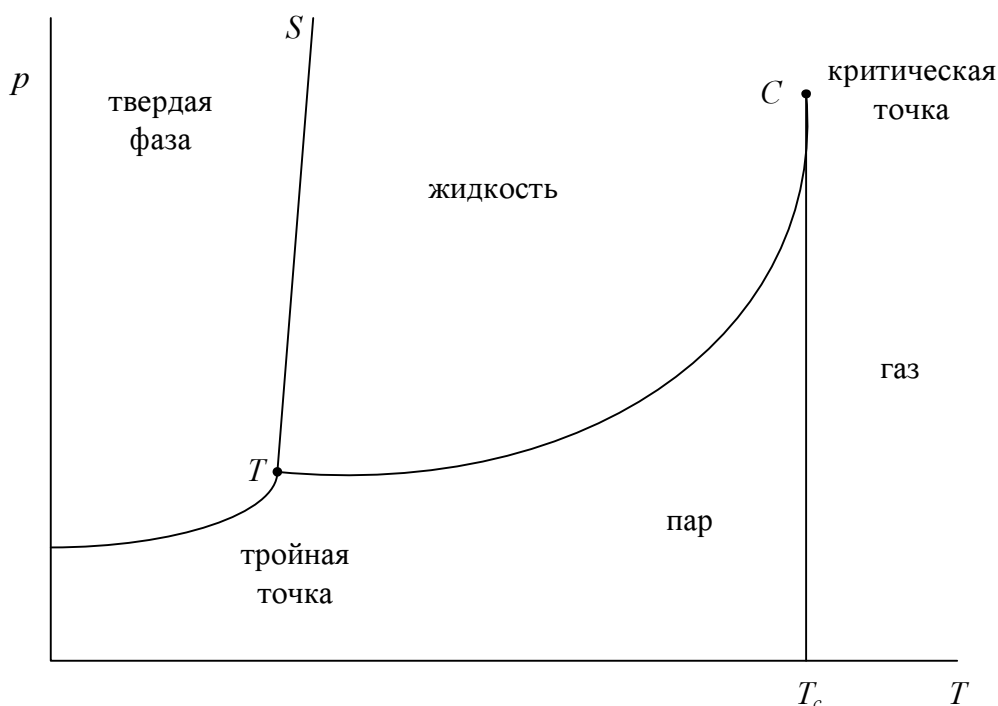
Результаты исследований. Рассмотрим равновесие между жидкой и газоподобной фазами (см. рисунок). Система закрыта и при фиксированной температуре состоит только из жидкости и пара, находящихся в равновесии.

Когда температура приближается к T_c , равновесие приближается к критическому состоянию C .

Рассмотрим гетерогенную систему, в которой две фазы занимают разные объемы. При этих условиях жидкость необратимо превращается в пар или наоборот; процесс идет до тех пор, пока между двумя фазами не наступает равновесие. Обмен веществом между двумя фазами можно рассматривать как «химическую реакцию», уравнение которой условно запишем в виде:

$$\Pi = \mathcal{J}, \quad (1)$$

т. е. пар = жидкость. Обозначим: газ – G , пар – Π , жидкую фазу – $\mathcal{J}$, твердую – S . Обмен веществом между фазами называют фазовой реакцией. Фазовые реакции используют для количественного описания превращения фаз.



Фазовая диаграмма однокомпонентной системы:

$p - T$ – равновесные кривые (во всех точках на этих кривых химические потенциалы равновесных фаз равны); T – тройная точка; C – критическая точка; T_c – критическая температура, выше которой газ невозможно перевести в жидкое состояние, увеличивая давление

Пусть μ_k^{II} и $\mu_k^{\text{Ж}}$ – химические потенциалы вещества k в двух фазах. Индексы «II» и «Ж» означают паровую и жидкую фазы. В равновесии производство энтропии любым необратимым процессом должно обратиться в нуль. Отсюда следует, что химическое сродство, соответствующее фазовому переходу жидкость – пар, должно обратиться в нуль, т.е.

$$\begin{aligned} A &= \mu_k^{\text{Ж}}(p, T) - \mu_k^{\text{II}}(p, T) = 0; \\ \mu_k^{\text{Ж}}(p, T) &= \mu_k^{\text{II}}(p, T), \end{aligned} \quad (2)$$

где в явном виде указано, что оба химических потенциала – функции от давления и температуры. Из равенства химических потенциалов следует, что когда жидкость находится в равновесии со своим паром давление и температура на являются независимыми переменными, и поэтому на фазовой диаграмме и появляется равновесная кривая TC .

Между фазами происходит массообмен.

Примерами переноса массы между фазами являются испарение жидкости в газ (газ-жидкость), массообмен между твердой поверхностью конструкционного материала и теплоносителем. При движении вещества из одной фазы в другую возникает сопротивление внутри каждой фазы и на их границе. В некоторых задачах массообмена принимают сопротивление межфазной границы пренебрежимо малым, что подтверждается опытными данными реальных систем. Исключение составляют системы, в которых на границе наблюдаются какие-либо отложения, примеси поверхностно-активных веществ, коррозионные процессы и т.д. При распространении тепла, например, из жидкости в газ возникает непрерывное поле температур. Температура на границе фаз одинакова для каждой фазы ($T_{\text{ст}}$). Общее термическое сопротивление (величина, обратная коэффициенту теплопередачи) может быть представлена как сумма термических сопротивлений со стороны каждой фазы.

Сумма коэффициентов теплообмена с каждой стороны:

$$1/k = 1/a' + 1/a''. \quad (3)$$

Плотность теплового потока

$$q = k(T' - T'').$$

В случае массопереноса, если две фазы находятся в равновесии и сопротивление переносу массы на границе отсутствует, концентрации на границе не равны. Это объясняется тем, что в качестве движущего потенциала выбрана именно концентрация – движущий потенциал для массопереноса лишь внутри фазы, но не между фазами. Правильнее рассматривать в качестве движущей силы разницу химических потенциалов.

Разность между объемной и поверхностной концентрациями вещества в каждой фазе может быть выражена через плотность потока массы j и локальные коэффициенты массопереноса в каждой фазе β' , β'' .

Содержание влаги в воздухе можно определить психрометрическим методом, в основу которого положено измерение температуры с помощью сухого и мокрого термометров. Если все тепло, идущее на испарине, подводится за счет конвекции, то поток массы с единицы поверхности и плотность теплового потока определяются выражениями:

$$\left. \begin{aligned} j &= \beta \rho (d_s - d); \\ q &= \alpha (t - t_M) = jr, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где d – влагосодержание (масса водяного пара в 1 кг сухого воздуха); d_s – влагосодержание насыщенного воздуха; t , t_M – температуры сухого и мокрого термометров; r – теплота испарения воды при данном давлении.

Отсюда имеем

$$\frac{t - t_M}{d_s - d} = \frac{r\beta}{\alpha} \approx \frac{r}{c_p}, \quad (5)$$

Введем понятие химического потенциала. С перераспределением массы происходит перераспределение энергии в системы. Масса, являющаяся количественной мерой изменения, претерпеваемого системой, рассматривается как координата состояния. В качестве потенциала массы Дж. У. Гиббс предложил величину μ , называемую химическим потенциалом. Количество массообменного воздействия определяется в виде μdm , где m – масса [4].

Если система является гетерогенной, состоящей из нескольких компонентов, первый закон термодинамики запишется так:

$$dU = TdS = pdV + \sum_{k=1}^n \mu_k dm_k, \quad (6)$$

где U – внутренняя энергия; T – температура; S – энтропия; p – давление; V – объем; k – компонент; μ_k – химический потенциал компонента k ; m_k – масса компонента k .

Изобарно-изотермический потенциал Гиббса выражается так:

$$dG = Vdp - SdT. \quad (7)$$

Для равновесного процесса $dG = 0$.

Ясно, что равенство химических потенциалов (2) должно выполняться между любыми двумя фазами, находящимися в равновесии. Если бы имелось P фаз, то выполнялось бы общее условие равновесия:

$$\mu_k^1(p, T) = \mu_k^2(p, T) = \mu_k^3(p, T) = \dots \mu_k^P(p, T). \quad (8)$$

где верхней индекс указывает фазу, а нижний – компонент.

На рисунке можно заметить еще одну интересную особенность: имеется критическая точка C , в которой заканчивается равновесная кривая TC (между жидкой и паровой фазами). Если температура газа выше T_c , то газ невозможно сжать (перевести в жидкость) путем увеличения давления: при увеличении давления плотность возрастает, но переход в конденсаторную фазу не происходит.

В однофазной системе, где имеется, например, только газ, интенсивные переменные – давление и температура – могут изменяться независимо. Но когда в равновесии находятся две фазы, например пар и жидкость, p и T перестают быть независимыми. Так как химические потенциалы двух фаз должны быть равны, т.е. $\mu^1(p, T) = \mu^2(p, T)$, независима только одна из двух интенсивных переменных. Число независимых интенсивных переменных связано с числом фаз, находящихся в равновесии, и числом компонентов в системе.

Кроме правила фаз, открытого Гиббсом, существует еще одно замечание, сделанное Пьером Дюгемом, и получившее название теоремы Дюгема. Она формулируется так: при любом числе фаз, компонентов и химических реакций, если начальное число молей N_k всех компоненты задано, равновесное состояние закрытой системы полностью определяется двумя независимыми переменными.

Отметим, что правило фаз Гиббса определяет полное число независимых интенсивных переменных, а теорема Дюгема – полное число независимых интенсивных и экстенсивных переменных в закрытой системе.

Различают фазовые переходы первого и второго рода [2]. Химический потенциал при фазовых переходах первого рода изменяется непрерывно, но его производная имеет разрыв.

Характерные особенности фазовых переходов второго рода заключается в том, что в этом случае изменения термодинамических величин не столь значительны: изменения молярной энтропии S_m и молярного объема V_m непрерывны, но их производные имеют разрывы. Аналогично, имеет разрыв вторая производная химического потенциала.

В результате фазовых переходов, как правило, происходит изменение симметрии системы, которое характеризуется так называемым параметром порядка. Последний обычно выбирают так, чтобы он был равен нулю по одну сторону фазового перехода.

В системе жидкость – жидкость или жидкость – пар и пар – жидкость симметрия не изменяется. Деление фазовых переходов на два рода несколько условно, так как в жидкокристаллических системах известны фазовые переходы первого рода, очень близкие к фазовым переходам второго рода. Это переходы с малым скачком параметра порядка и малыми теплотами при сильно развитых флуктуациях.

В некоторых системах, например в адсорбционных тепловых насосах, в пористых аккумуляторах тепла, эффективность энергетических систем в основном определяется уровнем протекающих фазовых переходов.

Отметим, что пористые среды играют существенную роль не только в технических областях, но и в природе, в биологии и заслуживают всестороннего анализа.

Исходная система уравнений записывается так:

– в направлении Z :

$$; \frac{\partial}{\partial Z}(VU) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R}(R^n VU) = -\frac{\partial P}{\partial Z} + \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{\partial}{\partial Z} \left(\frac{\partial U}{\partial Z} \right) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^n \frac{\partial U}{\partial R} \right) \right] - f \frac{U}{D_a \text{Re}}; \quad (9)$$

– в направлении R :

$$\frac{\partial}{\partial Z}(UV) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R}(R^n VU) = -\frac{\partial P}{\partial R} + \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{\partial}{\partial Z} \left(\frac{\partial V}{\partial Z} \right) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^n \frac{\partial V}{\partial R} \right) \right] - f \frac{V}{D_a \text{Re}} - f \frac{V}{\text{Re} R^2} n; \quad (10)$$

– уравнение энергии:

$$\frac{\partial}{\partial Z}(U\Theta) + \frac{1}{R^n} \frac{\partial}{\partial R}(R^n V\Theta) = \frac{1}{P_e} \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial Z^2} \right) + \frac{1}{P_e R^n} \frac{\partial}{\partial R} \left(R^n \frac{\partial \Theta}{\partial R} \right); \quad (11)$$

– генерация энтропии:

$$E_g = \left(\frac{\partial \Theta}{\partial Z} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Theta}{\partial R} \right)^2 + (1-f) Br_m \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial V}{\partial R} \right)^2 + \left(\frac{V}{R} n \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial Z} \right)^2 \right] + \left[\frac{\partial V}{\partial Z} + \frac{\partial U}{\partial R} \right]^2 \right\} + f \frac{Br_m}{D_a} [\bar{V}]^2. \quad (12)$$

В уравнениях (8 – 12) приняты обозначения:

$Z = z/z_{in}$; $U = u/u_{in}$; $V = v/v_{in}$; $R = r/r_{in}$; $\Theta = (T - T_{in})/T_w - T_{in}$; $P = p/p_{in}$; $\Theta = (T - T_{in})/T_w - T_{in}$; $P = p/p_{in}$; D_a – число Дарси; Re – число Рейнольдса; Br_m – преобразованное число Бринкмана, z и r – координаты (r – радиус); u , v – компоненты скорости; ρ – плотность; f – параметры, определяющие степень пористости исследуемого тела.

Энтропийный метод анализа энергетических систем получил особое развитие в последние два-три десятилетия благодаря научным работам А. Бежана и Т. Морозюк [3, 5].

Выводы

Приведенные закономерности фазовых переходов могут служить основой для более полного и правильного решения указанных процессов. Оценку уровня фазовых переходов рекомендуется основывать на энтропийном анализе.

Список литературы

1. Пригожин И. Современная термодинамика от тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – М.: Мир, 2002. – 461 с.
2. Стенли Г. Фазовые переходы и критические явления / Г. Стенли; пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – 425 с.
3. Bejan A. Entropy generation minimization in heat transfer. In: E. Sciubba, M. Moran (Eds.) second Law Analysis of Energy systems: toward the 21st century. Proceedings of International Conferences ROMA', 1995. – P. 363 – 372.
4. Gibbs J.W. On the equilibrium of heterogeneous substance. Trans. Conn. Aco. d. Sci, III, 1828. – P. 343-524.

5. Morosuk T. Entropy generation in conduits filled with porous medium totally and partially/International Journal of Heat and Mass Transfer 48 (2005). – P. 2548 – 2560.

6. Prigogine J., Defay R. Chemical Thermodynamics. 2 th. ed. – London: Longman, 1967. – 211 p.

ДО ПИТАННЯ ПРО ФАЗОВІ ПЕРЕХОДИ

В.Г. Демченко, Б.Х. Драганов

Виконано термодинамічний аналіз фазових переходів, у тому числі при переходах пара – рідина (рідина – пара). Наведено хімічний потенціал Гіббса для визначення процесу масообміну в гетерогенних середовищах.

Ключові слова: фазовий перехід, гетерогенна система, хімічний потенціал, тепломасообмін, правило фаз Гіббса, теорема Дюгена, пористе середовище, ентропія

ON THE PROBLEM OF PHASE TRANSITIONS

V. Demchenko, B. Draganov

A thermodynamic analysis of phase transitions, including the transitions vapor - liquid (liquid - vapor). Shows the chemical Gibbs potential to determine the mass transfer process in heterogeneous environments.

Keywords: phase transition, heterogeneous system, the chemical potential, heat and mass transfer, Gibbs phase rule, Theorem Dyugena, porous medium, entropy

УДК 621.316.542.9:621

ЗАПРЕТ ВКЛЮЧЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ АВР ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ КОНТРОЛЕ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ В ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

И.Н. Фомин, инженер

**ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный
университет»**

e-mail: gaalx@ukr.net

Разработан способ дистанционного контроля работы выключателей, осуществляемый путем сравнения длительности проте-

5. Morosuk T. Entropy generation in conduits filled with porous medium totally and partially/International Journal of Heat and Mass Transfer 48 (2005). – P. 2548 – 2560.

6. Prigogine J., Defay R. Chemical Thermodynamics. 2 th. ed. – London: Longman, 1967. – 211 p.

ДО ПИТАННЯ ПРО ФАЗОВІ ПЕРЕХОДИ

В.Г. Демченко, Б.Х. Драганов

Виконано термодинамічний аналіз фазових переходів, у тому числі при переходах пара – рідина (рідина – пара). Наведено хімічний потенціал Гіббса для визначення процесу масообміну в гетерогенних середовищах.

Ключові слова: фазовий перехід, гетерогенна система, хімічний потенціал, тепломасообмін, правило фаз Гіббса, теорема Дюгена, пористе середовище, ентропія

ON THE PROBLEM OF PHASE TRANSITIONS

V. Demchenko, B. Draganov

A thermodynamic analysis of phase transitions, including the transitions vapor - liquid (liquid - vapor). Shows the chemical Gibbs potential to determine the mass transfer process in heterogeneous environments.

Keywords: phase transition, heterogeneous system, the chemical potential, heat and mass transfer, Gibbs phase rule, Theorem Dyugena, porous medium, entropy

УДК 621.316.542.9:621

ЗАПРЕТ ВКЛЮЧЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ АВР ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ КОНТРОЛЕ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ В ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

И.Н. Фомин, инженер

**ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный
университет»**

e-mail: gaalx@ukr.net

Разработан способ дистанционного контроля работы выключателей, осуществляемый путем сравнения длительности проте-

кания тока короткого замыкания (КЗ) с длительностью срабатывания защиты секционирующего выключателя линии электропередачи (ЛЭП).

Ключевые слова: способ дистанционного контроля, определение места возникновения КЗ, автоматическое повторное включение, способ запрета включения

Своевременное получение информации об изменении состояния выключателя (отключился, включился и снова отключился, или включился и остался включенным) оперативным персоналом достигается реализацией дистанционного контроля над действиями выключателей линии электропередачи [4,6].

Цель исследований – разработка способа дистанционного контроля работы выключателей при аварийных отключениях в линии электропередачи.

Результаты исследований. На основе дистанционного контроля работы выключателей [2,3,5], осуществляемого путем сравнения длительности протекания тока короткого замыкания (КЗ) с длительностью срабатывания защиты секционирующего выключателя линии электропередачи (ЛЭП) разработан способ, который позволяет определить место возникновения КЗ, и если оно произошло на участке линии, смежном с выключателем автоматического включения резерва (АВР) ЛЭП, осуществить запрет включения на устойчивое КЗ АВР выключателя ЛЭП.

Для этого в начале линии, питающейся от шин основного источника питания контролируют ток КЗ и с момента его появления начинают отсчет времени, которое устанавливают равным времени срабатывания защиты секционирующего выключателя, расположенного в линии основного источника питания смежно с пунктом сетевого АВР. И если в момент окончания отсчёта этого времени ток КЗ исчезнет, то далее через время, равное времени бестоковой паузы автоматического повторного включения (АПВ) этого выключателя, контролируют появление второго броска тока КЗ. С момента его появления отсчитывают время, равное времени срабатывания защиты секционирующего выключателя с ускорением и если в момент окончания этого времени второй бросок тока КЗ исчезает, то устанавливают факт наличия в линии устойчивого КЗ и подают сигнал запрета на включение выключателя АВР [1].

Работу способа можно пояснить с помощью структурной схемы (рис. 1) которая содержит: устройство запрета АВР 1, трансформатор тока (ТТ) 2, датчик тока короткого замыкания (ДТКЗ) 3, элемент ПАМЯТЬ 4, элемент ЗАДЕРЖКА 5, элемент НЕ 6, элемент И 7, элемент ПАМЯТЬ 8, элемент ЗАДЕРЖКА 9, элемент И 10, элемент ПАМЯТЬ 11, элемент ЗАДЕРЖКА 12, элемент ОДНОВИБРАТОР 13, элемент И 14, силовой трансформатор основного источника питания 15, головной выключатель линии основного источника питания 16, секционирующий выключатель линии основного источника питания 17, точка КЗ 18, выключатель пункта АВР 19, секционирующий выключатель линии резервного источника питания 20, головной выключатель резервного источника питания 21,

силовой трансформатор резервного источника питания 22.

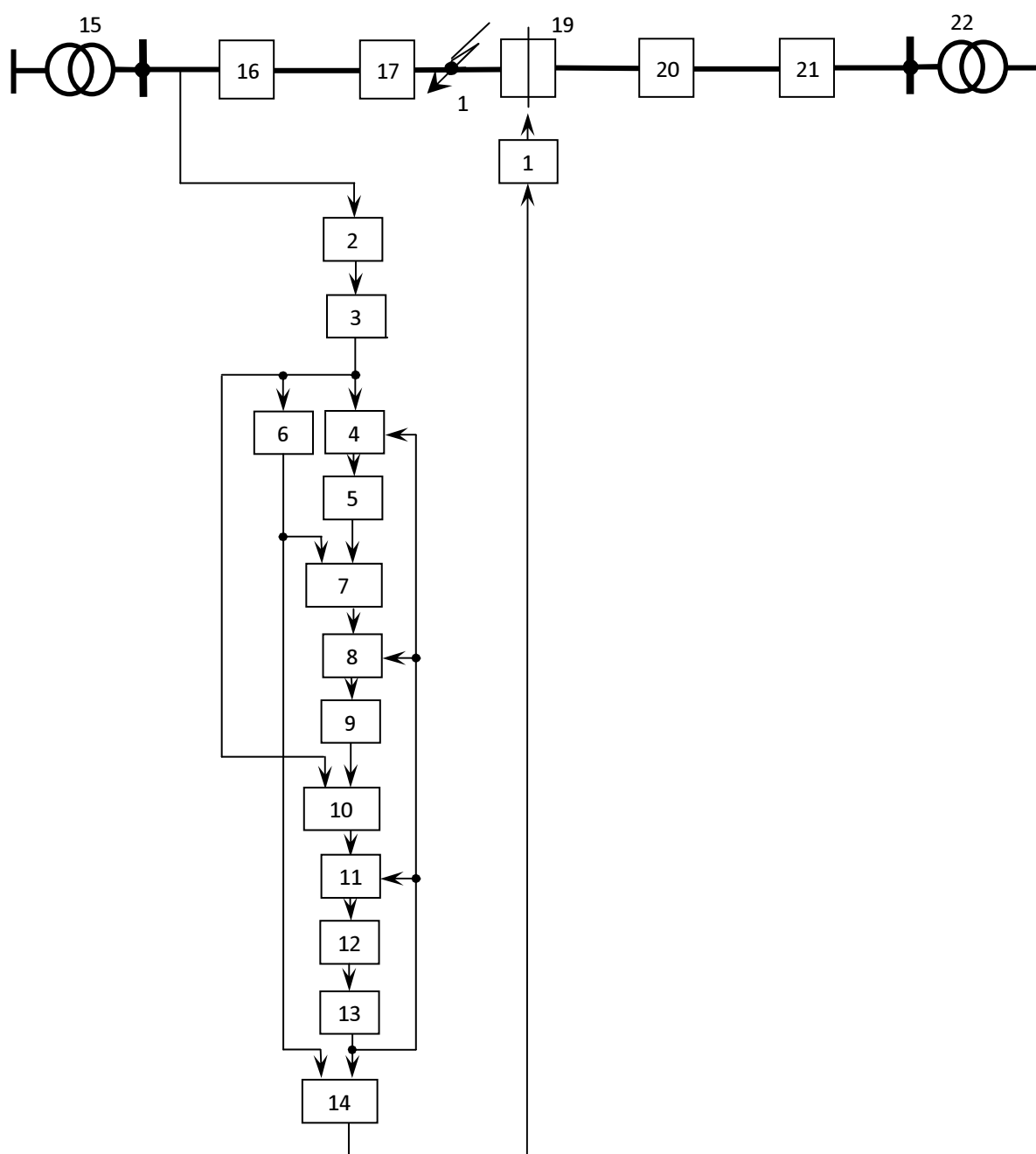


Рис. 1. Структурная схема способа запрета включения на устойчивое КЗ АВР выключателя ЛЭП

Диаграммы сигналов на выходах элементов, показанных на рис. 1 при КЗ в точке 18 (см. рис. 1), имеют вид (рис. 2): 23 – на выходе элемента 2; 24 – на выходе элемента 3; 25 – на выходе элемента 4; 26 – на выходе элемента 5; 27 – на выходе элемента 6; 28 – на выходе элемента 7; 29 – на выходе элемента 8; 30 – на выходе элемента 9; 31 – на выходе элемента 10; 32 – на выходе элемента 11; 33 – на выходе элемента 12; 34 – на выходе элемента 13; 35 – на выходе элемента 14; 36 – на выходе элемента 1; $t_{с.з.}$ – время срабатывания защиты

секционирующего выключателя линии; $t_{АПВ}$ – выдержка времени АПВ секционирующего выключателя линии; $t_{с.з.у}$ – время срабатывания защиты секционирующего выключателя линии с ускорением.

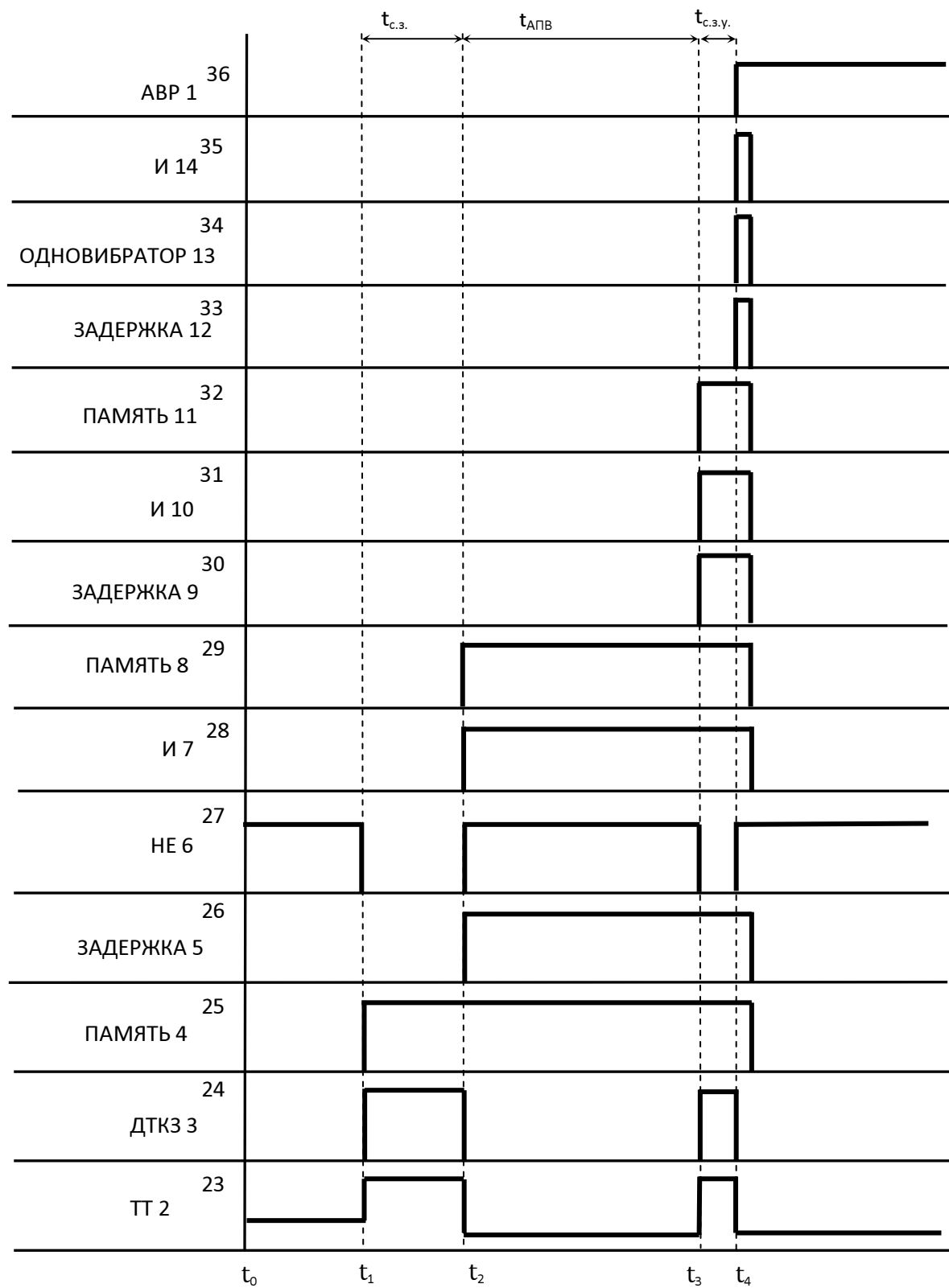


Рис. 2. Диаграммы сигналов на выходах элементов

Способ осуществляется следующим образом. В нормальном режиме секционирующий выключатель 17 включен, а выключатель пункта АВР 19 отключен. На выходе ТТ2 есть некоторая величина выходного сигнала (см. рис. 2, диаграммы 23, момент времени t_0), обусловленная рабочим током, но недостаточная для срабатывания ДТКЗ 3, поэтому присутствие выходного сигнала с элемента НЕ 6 на одном из входов элементов схемы И 7 и И 14 недостаточно для их срабатывания. Схема не запускается [7].

При КЗ в точке 18 (см. рис. 1) величина выходного сигнала ТТ 2 (см. рис. 2, диаграмма 23, момент времени t_1) достаточна для срабатывания ДТКЗ 3, поэтому на его выходе появляется сигнал (диаграмма 24).

Сигнал запоминается элементом ПАМЯТЬ 4 (диаграмма 25) и поступает на вход элемента ЗАДЕРЖКА 5, с выхода которого сигнал появится через интервал времени, равный времени выдержки срабатывания защиты секционирующего выключателя 17 (диаграмма 26, момент времени t_2) и поступит на второй вход элемента И7. Сигнал, существовавший на выходе элемента НЕ 6 (диаграмма 27) в момент возникновения первого броска тока КЗ исчезнет, а в момент отключения этого броска тока КЗ вновь появится и поступит на первый вход элемента И7. Наличие двух входных сигналов на элементе И 7 приведет к возникновению сигнала на его выходе (диаграмма 28), который поступит на вход элемента ПАМЯТЬ 8 (диаграмма 29), запомнится им и поступит на вход элемента ЗАДЕРЖКА 9. На выходе этого элемента сигнал появится через время, равное времени бестоковой паузы АПВ секционирующего выключателя 17 (диаграмма 30, момент времени t_3) и поступит на второй вход элемента И 10. В этот момент времени в результате повторного включения секционирующего выключателя 17 вновь появляется ток КЗ, поэтому с ДТКЗ 3 также поступит сигнал на первый вход элемента И10. Наличие двух входных сигналов на элементе И 10 приведет к появлению его выходного сигнала (диаграмма 31). Он поступит на вход элемента ПАМЯТЬ 11, запомнится им (диаграмма 32), и обеспечит наличие входного сигнала на элементе ЗАДЕРЖКА 12. С выхода этого элемента сигнал появится через время, равное времени срабатывания защиты секционирующего выключателя 17 с ускорением (диаграмма 33, момент времени t_4) и появится он на входе элемента ОДНОВИБРАТОР 13. Элемент ОДНОВИБРАТОР 13 выдаст однократный импульс (диаграмма 34), который поступит на элементы ПАМЯТЬ 4, 8, 11, «сбросит» их и поступит на второй вход элемента И 14. И если в этот момент времени произойдет исчезновение второго броска тока КЗ, то устанавливают факт повторного отключения секционирующего выключателя и наличие в линии устойчивого КЗ, при этом на выходе элемента НЕ 6 вновь появится сигнал (диаграмма 27), он поступит на первый вход элемента И 14. На его выходе появится сигнал (диаграмма 35), который поступит на вход элемента 1 и обеспечит запрет включения на устойчивое КЗ АВР выключателя ЛЭП.

Выводы

При помощи дистанционного контроля работы выключателей, осуществляемого путем сравнения длительности протекания тока КЗ с длительностью срабатывания защиты секционирующего выключателя ЛЭП, способ позволяет ввести запрет включения на устойчивое КЗ АВР выключателя ЛЭП, как при двух-, так и при трехфазных устойчивых КЗ в ЛЭП с секционирующими пунктами, оборудованными устройствами однократного АПВ выключателей. Это повышает эффективность функционирования систем электроснабжения и надежность электроснабжения потребителей за счет исключения срабатывания выключателя пункта АВР на устойчивые КЗ.

Список литературы

1. Пат. № 2421862 Российская Федерация, МПК H02J 9/06 H02J 13/00. Способ запрета сетевого автоматического включения резерва на короткое замыкание / Суров Л.Д., Фомин И.Н., Суров И.Л., Фомин Д.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет». – №2010109117/07; заявл. 11.03.2010; опубл. 20.06.2011, Бюл. №17.
2. Пат. № 2304339 Российская Федерация, МПК H02 J 13/00. Способ контроля отказа отключения пункта автоматического включения резерва при включении его выключателя на устойчивое короткое замыкание в кольцевой сети / Васильев В.Г., Суров Л.Д., Виноградов А.В., Фомин И.Н.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет». – №2006113883/09; заявл. 24.04.2006; опубл. 10.08.2007, Бюл. №22.
3. Пат. № 2371826 Российская Федерация, МПК H02 J 13/00. Способ контроля отключения секционирующего выключателя при отказе отключения выключателя пункта автоматического включения резерва, включившегося на устойчивое короткое замыкание в кольцевой сети / Суров Л.Д., Фомин И.Н., Греков В.В.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет». – №2008138127/09; заявл. 24.09.2008; опубл. 27.10.2009, Бюл. №30.
4. Суров Л.Д. Контроль срабатывания выключателя сетевого пункта АВР на короткие замыкания в кольцевой сети / Л.Д. Суров, И.Н. Фомин, В.Ф. Шумарин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – №3(38). – С.18–20.
5. Суров Л.Д. Схема контроля отказа отключения выключателя сетевого пункта автоматического включения резерва в кольцевой сети / Л.Д. Суров, И.Н. Фомин // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина". – 2008. – № 4. – С. 18–19.
6. Фомин И.Н. Дистанционный контроль над действиями выключателей в кольцевой сети / И.Н. Фомин, Л.Д. Суров // Вестник ОрелГАУ. – 2012. – №5(38). – С.163–166.
7. Фомин И.Н. Структурная схема запрета сетевого автоматического включения резерва / И.Н. Фомин, Л.Д. Суров // Научно-практический журнал «Агротехника и энергообеспечение». – 2014. – № 1 (1). – С. 461–464.

ЗАБОРОНА ВКЛЮЧЕННЯ ВИМИКАЧА АВР ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ КОНТРОЛІ АВАРІЙНИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ В ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

І.М. Фомін

Розроблено спосіб дистанційного контролю роботи вимикачів, здійснюваний шляхом порівняння тривалості протікання струму короткого замикання (КЗ) з тривалістю спрацьовування захисту секціонуvalьного вимикача лінії електропередачі (ЛЕП).

Ключові слова: *спосіб дистанційного контролю, визначення місця виникнення КЗ, автоматичне повторне включення, спосіб заборони включення*

BAN ON SWITCH WITH ATS AT REMOTE MONITORING OF EMERGENCY STOP IN POWER LINE

I. Fomin

A method for remote control operation of switches is accomplished by comparing the length of short-circuit current (CC) with a duration of protection operation is partitioned switch transmission

Keywords: *the method of remote control , the definition of the place of occurrence of short-circuit , automatic reclosing , barring the way of inclusion*

UDC536(075.8)

OPTIMIZATION OF UNDERGROUND HEAT ACCUMULATORS IN HEAT PUMP SYSTEMS

B. Draganov, V. Kozyrskiy, Doctors of technical Sciences
e-mail: epafort1@mail.ru

Application of the heat accumulators in general, and the underground ones in particular, allow the raising of the efficiency of heat pump systems by means of balancing the rates of production and consumption of neat. The system also eliminates operation of the heat pump of low load. It is most efficient to use water-carrying ground layers as natural underground heat accumulators, also developed a mathematical model and carried out experimental investigation on the proposed system.

Keywords: *heat accumulator, Heat pump systems, Mathematical Model, Optimization*

ЗАБОРОНА ВКЛЮЧЕННЯ ВИМИКАЧА АВР ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ КОНТРОЛІ АВАРІЙНИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ В ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

І.М. Фомін

Розроблено спосіб дистанційного контролю роботи вимикачів, здійснюваний шляхом порівняння тривалості протікання струму короткого замикання (КЗ) з тривалістю спрацьовування захисту секціонуvalьного вимикача лінії електропередачі (ЛЕП).

Ключові слова: *спосіб дистанційного контролю, визначення місця виникнення КЗ, автоматичне повторне включення, спосіб заборони включення*

BAN ON SWITCH WITH ATS AT REMOTE MONITORING OF EMERGENCY STOP IN POWER LINE

I. Fomin

A method for remote control operation of switches is accomplished by comparing the length of short-circuit current (CC) with a duration of protection operation is partitioned switch transmission

Keywords: *the method of remote control , the definition of the place of occurrence of short-circuit , automatic reclosing , barring the way of inclusion*

UDC536(075.8)

OPTIMIZATION OF UNDERGROUND HEAT ACCUMULATORS IN HEAT PUMP SYSTEMS

B. Draganov, V. Kozyrskiy, Doctors of technical Sciences
e-mail: epafort1@mail.ru

Application of the heat accumulators in general, and the underground ones in particular, allow the raising of the efficiency of heat pump systems by means of balancing the rates of production and consumption of neat. The system also eliminates operation of the heat pump of low load. It is most efficient to use water-carrying ground layers as natural underground heat accumulators, also developed a mathematical model and carried out experimental investigation on the proposed system.

Keywords: *heat accumulator, Heat pump systems, Mathematical Model, Optimization*

The climate conditions in our country, and especially of its southern regions, enables the use of various heliosystems: for direct water heating and solar assisted heat pumps.

Research on the application of heliosystems [1] showed the necessity of using heat accumulators to increase their effectiveness.

For heat pump systems which are being investigated for the conditions of Ukraine, the need for heat accumulators is expressed by:

- balancing graphs of production and utilization of heat;
- elimination of the need to use heat pumps at part load conditions.

Economically based abroad, the night tax for electric power and other taxes for equipment exploitation are not yet actual for Ukraine. Short-rate peak heat loadings seem more reasonable to be covered with direct electric heating, which greatly lowers expenses for the creation of the system.

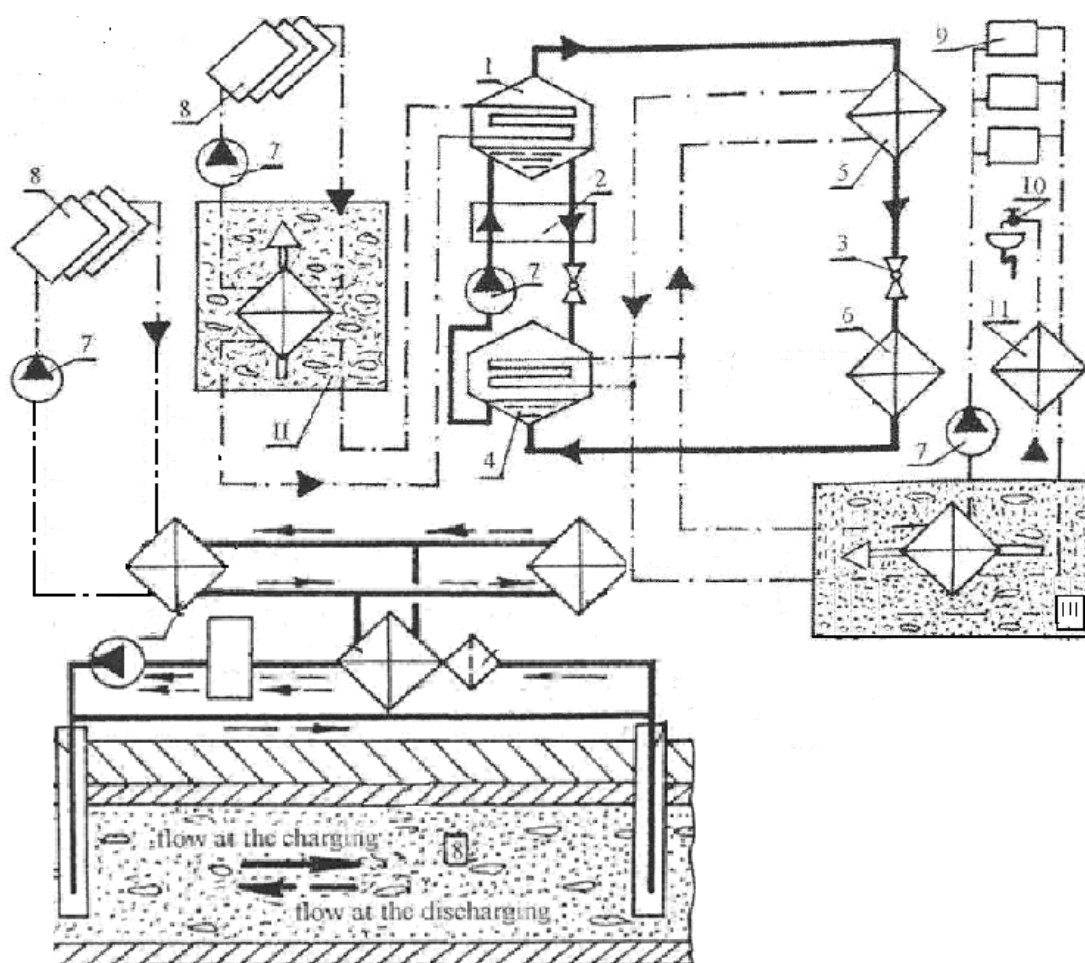


Fig.1. Schematic solution of the heat-and-cold supply system on the based of the absorption heat pump with the heliosystem:

II – accumulator of the high potential heat; III – accumulator of the medium potential heat; IV – accumulator of the low potential heat; 1 – generator; 2 – heat exchanger of solutions; 3 – throttle valve; 4 – absorber; 5 – condenser; 6 – evaporator; 7 – pump; 8 – solar collectors; 9 – heating system; 10 – hot water supply system; 11 – boiler of the hot water supply; — - refrigerant of the heat pump; - • - - - - heat-and-cold carriers between the heat pump and peripheral equipment, water.

Heat accumulators differ of charging-discharging, consequently there appear the demands to their work..

As an example of the system (Fig. 1) [2], authors analyzed the system of heat and cold supply on the basis of the absorption heat pump, as such a system is the most suitable due to the number and temperature levels of the heat accumulators. The system possesses two heat accumulators one with high and medium potential with 24-hour accumulation and the other with low potential of seasonal heat accumulation. A special characteristic of the summer condition of the system operation is the charging of the low potential heat accumulator.

Application of thermo-economic (exergoeconomic) principle of optimization [4-8] is based on estimation of energy losses in system by money. In this case use the of economic characteristics incorporated in energy estimation of system. Such approach unites energy and economic estimation and does not concede on objectivity of generality technico-economic optimization [3...6].

Let's consider homogeneous system consisting of various elements where one flow h_i consistently and unitary cooperates with n flows (Fig. 2) [7].

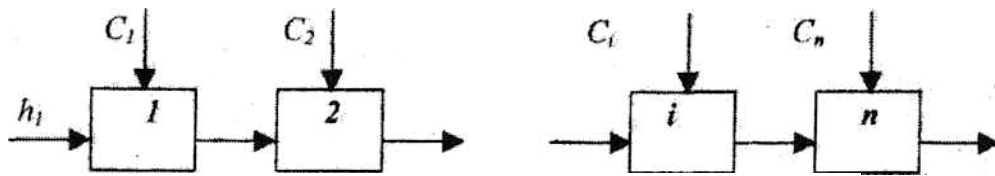


Fig. 2. The linear scheme of power system

In this case of optimum synthesis problem can be formulated as; it is necessary to distribute the set of flows C_i , $i = 1, 2, \dots, n$ along the flow h_j , $j=1$, so that the flow parameters h_i after system were in given interval of meanings, and the chosen optimization criterion accepted the minimal value [3].

Let's accept expression of total thermo-economic expenses in the system as optimization criterion

$$\sum_i \sum_j Z_{ij} = Z_{\Sigma}^{\min}, \quad (1)$$

where Z_{ij} – thermo-economic expenses in i -th element of system (as = 1)

$$Z \{ Z_{i_p}^{(p)} \}, \quad p = 1, 2, \dots, k; \quad i_p = 1, 2, \dots, [N - (p - 1)]. \quad (2)$$

The $Z \{ Z_{i_p}^{(p)} \}$ can be broken on k subsets $Z \{ Z_{i_p}^{(p)} \} = \prod_{p=1}^k Z_p \{ Z_{i_p}^{(p)} \}$.

Here subset

$$Z_p \{ Z_{i_p}^{(p)} \} = \{ Z_1^{(p)}, Z_2^{(p)}, \dots, Z_{i_p}^{(p)}, \dots, Z_{[N-(p-1)]}^{(p)} \} \quad (3)$$

is possible meanings of thermo-economic expenses on some stage p , $p < k$.

Then, on each intermediate stage p it is necessary to choose such flow for which

$$Z_{i_p}^{(p)} \in Z_p \{ Z_{i_p}^{(p)} \}$$

$$Z_{i_p}^{(p)} = Z_{\min}^{(p)}, i_p = 1, 2, \dots, [n - (p - 1)] \quad (4)$$

where $Z_{\min}^{(p)}$ – is minimal thermo-economic expense for stage p . Then the chosen flow is excluded from the further consideration. Thus, for numbers of elements p -th and $(p - 1)$ – the subset the ratio is fair

$$Z_p \{Z_{i_p}^{(p)}\} = Z_{(p+1)}^{(p)} \{Z_{i_{(p+1)}}^{(p+1)}\}. \quad (5)$$

For achievement given parameters for flow h_j it is necessary $k \leq n$ elements, i.e. necessary to find the set of flows $C_k \in C$ for eq. (7) was carried out.

Generally thermo-economic criterion of optimality is

$$Z_{\Sigma} = \left(\frac{\sum_n c_n \Pi_n + \overline{K_n}}{\sum_k e_k} \right), \quad (6)$$

where $c_n \Pi_n$ – cost and annual energy consumption from external sources; $\overline{K_n}$ – annual capital and other expenses associated with n -th element; e_k – annual energy charge for k -th product reception.

Eq. (6) has more simple kind for special cases. For example, for installation with one product (where B is output of product)

$$Z_{\Sigma} = \min \left(\frac{\sum_n c_n \Pi_n + \overline{K_n}}{B} \right), \quad (7)$$

Thus, the optimization problem can be generally shown to search extremum of functions

$$Z_{\text{opt}} = \min Z_{\Sigma} \quad (8)$$

or for parametrical optimization

$$\eta_{\text{opt}} = \max \eta_{\Sigma} \quad (9)$$

Of special interest represents the geometrical device of exergo-economic optimization.

Conclusions

The obtained calculated design data of technical characteristics of underground heat accumulators included into the heat pump equipment coincide well with the experimental data of systems operating around the world. This underlines the correctness of the theory of designing the underground heat accumulators and the mathematical model for their calculation.

References

1. Draganov B. Fara L. Enhancement of heliothermal systems efficiency, Solar Energy for Sustainable Development, Vol. 3, № 1 – 2, 1994. — P. 63-66.
2. Morosuk T. Schematic methods of raising the efficiency of power installations by means of inclusion into their composition the absorption thermo-transformers. These of doctorate, Odessa State Academy of Refrigeration, 1994.
3. Nikulshin V., Andreev L. Exergy Efficiency of Complex Systems. Proceedings

of International Conference of Ocean Technology and Energy, OTEC/DOWA, Japan, 1999. –P. 161-162.

4. Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M. Thermal Design and Optimization // New York J. Wiley, 1996.

5. El-Sayed Y. Revealing the cost efficiency trends of the design concepts of energy intensive systems // Energy Convection and Management, 40. – 1999. – P. 1599-1615.

6. Morosuk T. Exergoeconomics methods in absorption thermotransformers optimization // Industrial heat engineering, 4, 22. – 2000. – P. 15-19.

7. Dragan G. Draganov B. Methods of Power Systems Optimization // Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi. Tom XLVIII (LII). – 2002. – P. 191-198.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПІДЗЕМНИХ ТЕПЛОВИХ АКУМУЛЯТОРІВ У СИСТЕМАХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

Б.Х. Драганов, В.В. Козирський

Запропоновано застосування підземних теплових акумуляторів для підвищення ефективності систем теплових насосів за допомогою збалансування швидкості виробництва і споживання тепла. Система також виключає роботу теплового насоса при низькому навантаженні. Найефективніше використовувати підземні води як природні підземні теплові акумулятори. Розроблено математичну модель і проведено експериментальні дослідження запропонованої системи.

Ключові слова: акумулятори тепла, системи з тепловим насосом, математична модель, оптимізація

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Б.Х. Драганов, В.В. Козырский

Предложено применение подземных тепловых аккумуляторов для повышения эффективности систем тепловых насосов при помощи сбалансирования скорости производства и потребления тепла. Система также исключает работу теплового насоса при низкой нагрузке. Наиболее эффективно использовать подземные воды как природные подземные тепловые аккумуляторы. Разработана математическая модель и проведены экспериментальные исследования по предлагаемой системе.

Ключевые слова: аккумуляторы тепла, системы с тепловым насосом, математическая модель, оптимизация

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЛИНЕЙНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИМВОЛОВ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ АФФИННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

М.И. Васюхин, доктор технических наук

А.М. Касим, кандидат технических наук

*В.В. Долынный, аспирант**

В.Ю. Трохименко, студент

e-mail: trokhymenkoviktor@gmail.com

Рассмотрены вопросы генерации линейного перемещения сложного символа подвижного объекта на шаг, а также его поворота на определенный угол. Описаны существующие методы организации комбинированного линейно-вращательного перемещения сложного символа объекта, сделана оценка их недостатков. Для поворота растровых и векторных символов использован метод синусно-косинусных преобразований.

Ключевые слова: линейно-вращательное перемещение, сложный символ объекта, искажение образа, метод синусно-косинусных преобразований, аффинные преобразования

В настоящее время существуют системы, обеспечивающие в реальном режиме времени отображение на дисплее пространственного перемещения трактора или комбайна по полю и информирование фермера о необходимости увеличения или уменьшения расхода удобрений на том или ином участке поля.

Кроме применения в сельском хозяйстве, методы отображения линейно-вращательного перемещения подвижных объектов также используют и в аэронавигационных системах, в военных системах обороны, при составлении моделей, анимаций, создании мультипликационных приложений для определенного рода деятельности и т.д.

Комплекс методов организации линейно-вращательного перемещения сложного символа объекта рассматривался в работах ряда ученых [2, 5, 6, 8, 9].

Кратко остановимся на основных результатах теоретических и экспериментальных исследований, полученных в упомянутых источниках, касательно данной проблематики. Среди прочих программно-аппаратных методов и средств построения динамических сцен в работе [2] следует отметить метод базовых матриц и генератор вращения символов, реализованный в виде геометрического процессора. По сравнению с другими имеющимися методами, программно-аппаратный метод быстрой

* Научный руководитель – доктор технических наук, профессор М.И. Васюхин

© М.И. Васюхин, А.М. Касим,
В.В. Долынный, В.Ю. Трохименко, 2015

реализации плавного вращения обеспечил лучшее отображение эволюций сложных изображений символов, осуществляемых синхронно с изменением ориентации объектом, при размерах базовых матриц более 24×24 . Работа [9] содержит реализацию методов построения средств синтеза и визуализации изображений динамических объектов в навигационном пространстве для центров оперативного управления в режиме реального времени. В частности, предложены методы описания изображений, архитектура и алгоритмы функционирования системы синтеза изображений в операционно-ориентированных системах координат, оптимальных для представления и обработки компонентов движения объектов.

В работе [8] для осуществления операции вращения предлагается модифицированный алгоритм поворота сложного символа, реализующий метод базовых матриц, который предусматривает хранение символа в квадратной матрице памяти, составляющей точечный микрорастр и имеющей размер более 8×8 , причем в матрице прорисовывается контур этого символа, а все точки, лежащие вне контура имеют прозрачный цвет. Основная идея данного подхода заключается в использовании базы данных символов (БДС), которая хранит их азимутальные изображения, т.е. заранее создаются и сохраняются в памяти изображения для каждого символа объекта, повернутые на все углы, определенные пользователем. Для обеспечения поворота на заданный угол из БДС выбирается необходимое изображение символа и индицируется на экран.

В [6] дальнейшее развитие получил метод базовых азимутально-ориентированных изображений растрового символа, который позволяет получить необходимое количество азимутально-ориентированных изображений сложного с расширенной атрибутикой символа путем преобразования по предложенным формулам минимального числа его базовых изображений, повернутых в пределах 0° – 45° .

В [5] решена задача быстрого преобразования данных, обеспечивающих на экране эволюции множества движущихся объектов и их адекватного отображения, представляемого в виде символов на цветном картографическом фоне. Такая задача, в соответствии с которой часть вычислительных операций, осуществляемых ранее программным путем, выполняется аппаратно с помощью измененного геометрического процессора, названного в [2] генератором вращения. Опыт применения таких генераторов [2] показал значительные затраты времени на перестройку блока базовых матриц в условиях быстрой смены типов изображений символов. Для ликвидации отмеченного недостатка был предложен комбинированный программно-аппаратный метод представления эволюций сложных пространственных перемещений объектов, главная особенность которого состоит в том, что в качестве элементов памяти блока базовых матриц взяты бистабильные симметричные переключатели с памятью, которые имеют свойство сохранять своё состояние памяти при отключении питающих напряжений.

Недостатками существующих методов поворота изображений могут быть:

- недостаточная точность поворота;
- затраты времени на выполнение алгоритма, что приводит к несвоевременному выполнению самого метода;
- нагрузка системы, которая выражается в скорости отображения объекта на экране видеотерминала.

Цель исследований – осуществление линейно-вращательного перемещения сложного символа объекта и объяснение причин возникновения искажений.

Материалы и методика исследований. Для визуализации линейно-вращательного движения имеем сложный символ (рис. 1), который может быть представлен как в векторном, так и растровом виде, карту участка местности, среду программирования – Delphi.

При построении символов объектов, содержащих статические и динамические элементы, часто приходится иметь дело с ситуациями, когда они включают в себя целый ряд компонентов, отличающихся друг от друга только местоположением, ориентацией, размером, т.е. отдельные символы объектов обладают значительным геометрическим сходством.

В этом случае целесообразно описать один графический объект в качестве базового, а затем получать остальные требуемые объекты путем использования операций преобразования.

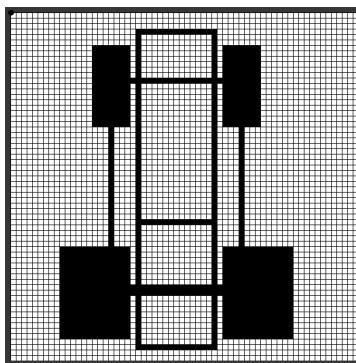


Рис. 1. Изображение матрицы точек, содержащей сложный символ объекта

С помощью операций преобразования можно выполнять следующие действия:

- перемещать объекты из одного места экрана в другое;
- создавать объект из более мелких элементов (составных частей);
- добавлять к существующему объекту новые элементы;
- увеличивать размер объекта для улучшения его наглядности или отображения более мелких деталей;
- уменьшать размер объекта для внесения, например поясняющих надписей или отображения на экране новых объектов;
- создавать движущиеся объекты.

Все представления эволюций символов можно выполнить с помощью трех базовых операций:

- переноса (перемещения) символа объекта;
- масштабирования (увеличения или уменьшения размеров) символа объекта;
- поворота символа объекта (употребляют также термины вращение, изменение ориентации).

Эти операции называются аффинными преобразованиями, при этом различают двумерные и трехмерные аффинные преобразования.

Поскольку для нашего случая область исследований ограничена 2D пространством, то рассмотрим лишь основные правила двумерных аффинных преобразований:

- прямые линии после преобразований остаются прямыми;
- параллельные прямые – параллельными;
- отношения деления отрезков остаются неизменными.

Процесс перемещения объекта, отображаемого на экране видеотерминала, складывается из двух элементарных составляющих: линейного перемещения и поворота. Более сложным является процесс вращения объекта (поворот на произвольный угол). Именно данный процесс требует значительных вычислительных ресурсов [2, 5, 6, 8].

Экспериментально установлено, что реакция на изменение направления поворота символа человеком-оператором находится в пределах $\pm 8^\circ - 12^\circ$ [3].

Задача состоит в том, чтобы с применением аффинных преобразований линейно переместить объект на определенный шаг, а также вращать его вокруг своей оси в поворотных точках траектории. Такая сцена представляется на экране видеотерминала, поэтому следует учитывать особенности экранной системы координат.

Результаты исследований. При переносе объекта необходимо знать координаты точки экрана, к которой привязывается выводимое изображение объекта. Один из способов переноса – это за каждым символом закрепить так называемую «ключевую точку», при этом в качестве абсолютной системы координат выбирается координатная сетка, пересечения строк и столбцов которой совпадают с пикселями экрана, а начало отсчета совпадает с его левым верхним углом. В случае представления символа объекта в растровом виде, его отображение осуществляется при помощи микрораstra (рис. 1). При этом предлагается относительная система координат, представляемая координатной сеткой, единичные клетки которой совпадают с элементами матрицы памяти символа. В ней в качестве «ключевой точки» выбирается верхний левый угол микрораstra [8].

Изображение на рис.1 сконструировано с помощью встроенного в среду Delphi редактора Image Editor.

Для визуализации линейного перемещения символа объекта, например на 10 шагов вверх, при использовании среды разработки Delphi, код операции будет представлен следующим образом:

$\text{Image1.Top} := \text{Image1.Top} - 10$,
где Image1.Top – изменяемая позиция верхнего края изображения.

Для перемещения символа объекта вниз – то же самое, только со знаком «+».

Для перемещения влево, код операции будет выглядеть так:

$\text{Image1.Left} := \text{Image1.Left} - 10$,
где Image1.Left – изменяемая позиция левого края изображения.

Для перемещения вправо – то же самое выражение, только с «+».

Зачастую при вращении графических объектов на определенный угол (A) (рис. 2) используется метод синусно-косинусных преобразований.

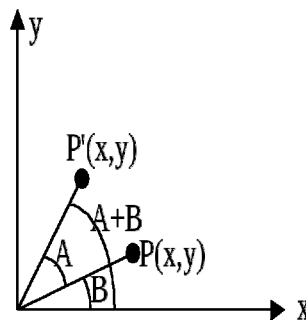


Рис. 2. Двумерный поворот

Математическое представление данного метода записывается в виде:

$$\begin{aligned}x &= r \cdot \cos B; \\y &= r \cdot \sin B,\end{aligned}$$

а новые координаты объекта вычисляются по формуле:

$$\begin{aligned}x' &= x \cdot \cos A - y \cdot \sin A; \\y' &= x \cdot \sin A + y \cdot \cos A.\end{aligned}$$

В матричной форме поворот записывается следующим образом:

$$M = \begin{bmatrix} \cos A & \sin A \\ -\sin A & \cos A \end{bmatrix}.$$

При этом движение считается положительным ($A > 0$), если вращение осуществлено против часовой стрелки; отрицательным – по часовой.

На рис. 3 приведена блок-схема предложенного алгоритма вращения символа объекта, с помощью которого можно осуществить его поворот на $45^\circ (\frac{\pi}{4})$ по часовой стрелке вокруг своей оси. В данном

алгоритме используются синусно-косинусные преобразования [4]. Согласно алгоритму каждый новый символ объекта поворачивается относительно своего предыдущего положения; после чего происходит выполнение команды для вывода на экран повернутого изображения символа. При данном алгоритме при каждом новом повороте следует искажение образа символа объекта.

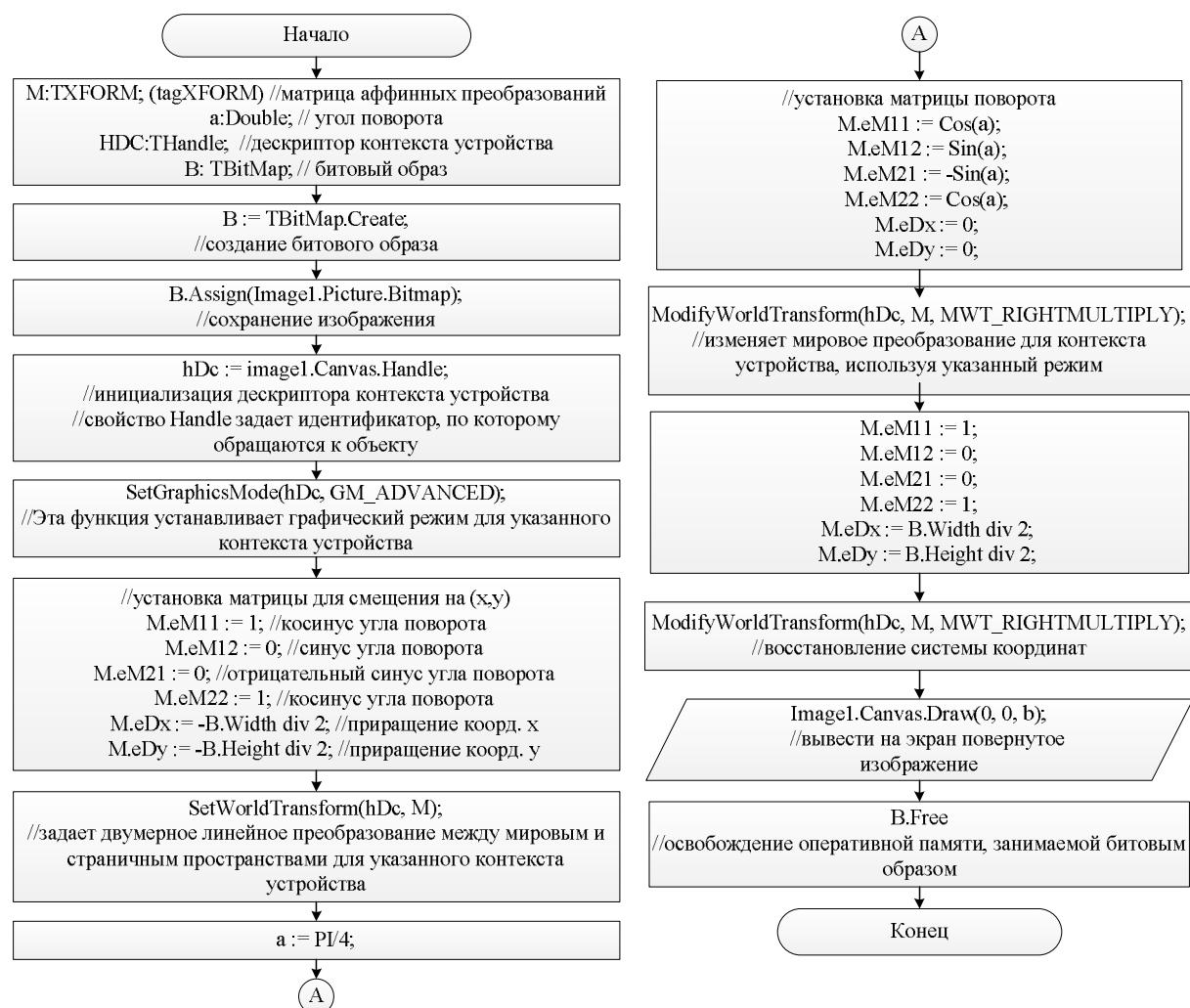


Рис. 3. Алгоритм вращения символа объекта

Если во время поворота последующее положение символа вычислять на основе координат его точек в предыдущем положении, то через некоторое время форма символа начнет искажаться. Это происходит в результате накопления ошибок, которые возникают в процессе преобразования координат. Чтобы этого не происходило, необходимо зафиксировать исходное положение символа, и координаты узловых точек его контура для каждого нового угла вращения вычислять по этому исходному положению. Кроме того, необходимо преобразовывать рассчитанные координаты в графические с учетом дискретности растровой сетки монитора [6].

Искажение формы символов также может быть связано с особенностями дисплея, который по своей структуре имеет пиксели не в

виде точки, а такие, которые по форме приближаются к прямоугольникам. В этом случае приходится дополнительно вводить коэффициенты, которые сокращают неравномерность между размерами пикселей по вертикали и горизонтали в соотношении 4:3 [6].

Итак, можно выделить две основные причины искажения изображения при повороте:

- меняется размер фигуры, куда это изображение вписано;
- меняются координаты точек.

В отличие от цифрового видео, где пиксели прямоугольные, в компьютерной графике пиксели квадратные. Это утверждение эквивалентно высказыванию, что видео отображается по-разному в горизонтальных и вертикальных направлениях.

У квадратного пиксела пропорции (Pixel Aspect Ratio) равны отношению 1:1, а у прямоугольного – соотношение сторон равно отношению ширины к высоте (W:H), причем W и H не равны [10].

Ширина (Width) и высота (Height) видеокадра измеряются в пикселах, и связаны друг с другом следующим соотношением:

$$\frac{\text{ширина (Width)}}{\text{высота (Height)}} = \frac{\text{DAR (пропорция устройства отображения)}}{\text{SAR (типовая пропорция пиксела)}}$$

где DAR – Display Aspect Ratio – описывает форму физически отображаемого на экране изображения,
SAR – Sample Aspect Ratio.

Например, в соответствии с промышленным стандартом «Industry Standard square pixels» для представления цифрового видео предполагается частота дискретизации, при которой пиксели – не квадратные. Они имеют пропорцию 768:767, которая является очень близкой к 1:1. Чтобы получить истинные пропорции пиксела при пересчете форматов, табличные значения нужно умножать на 768:767. С той же целью рекомендуется производить аналогичные вычисления в приложениях компьютерной графики.

Ниже представлено более детальное описание команд WinAPI, использованных при написании программы на языке программирования Object Pascal [11] и встречающихся в алгоритме на рис. 3.

function SetGraphicsMode (hdc: HDC, iMode: Integer):Integer – устанавливает графический режим для указанного контекста устройства. В ней hdc – дескриптор контекста устройства, iMode – определяет графический режим. Последний параметр может принимать одно из нижеследующих значений:

GM_COMPATIBLE – устанавливает графический режим, который совместим с 16-разрядным Windows;

GM_ADVANCED – устанавливает расширенный графический режим, который дает возможность преобразования мирового пространства. Это значение должно быть указано, если приложение будет установ-

ливать или модифицировать преобразование мирового пространства для указанного контекста устройства.

function SetWorldTransform (hdc: HDC; const p2: tagXFORM): LongBool – устанавливает двухмерное линейное преобразование между мировым пространством и пространством страницы для указанного контекста устройства. Это преобразование используется для масштабирования, поворота, сдвига или переноса выходных графических данных, где:

hdc – дескриптор контекста устройства;

p2 – указывает на структуру XFORM, которая содержит данные преобразования.

Если функция завершается успешно, возвращаемое значение отлично от нуля. Если же функция завершается ошибкой, возвращаемое значение равно нулю.

function ModifyWorldTransform (hdc: HDC; const p2: tagXFORM; p3: Cardinal): LongBool – изменяет преобразование мирового пространства для контекста устройства, используя указанный режим, где:

hdc – дескриптор контекста устройства;

p2 – указатель на структуру XFORM, используемую для модификации преобразования мирового пространства для данного контекста устройства;

p3 – определяет, каким образом данные преобразования модифицируют текущее преобразование мирового пространства. Этот параметр должен иметь одно из нижеследующих значений:

MWT_IDENTITY – сбрасывает текущее преобразование мирового пространства при помощи использования единичной матрицы. Если задается этот режим, структура XFORM, указанная при помощи p2 – игнорируется;

MWT_LEFTMULTIPLY – умножает текущее преобразование на данные в структуре XFORM. При этом данные в структуре XFORM становятся левым сомножителем, а данные для текущего преобразования – правым сомножителем;

MWT_RIGHTMULTIPLY – умножает текущее преобразование на данные в структуре XFORM. При этом данные в структуре XFORM становятся правым сомножителем, а данные для текущего преобразования – левым сомножителем.

В случае подачи символов в растровом виде, в зависимости от степени сложности, они задаются матрицами точек различной размерности, от 8×8 до 64×64, а в случае их представления в векторном формате – строятся из графических примитивов (точек, линий и дуг) по алгоритмам симметричного и несимметричного цифрового дифференциального анализатора, Бу и Брезенхема. Суть первого из этих алгоритмов является растеризация отрезка прямой между начальной и конечной точками путем интерполяции значений из интервалов $[(x_{start}, y_{start}), (x_{end}, y_{end})]$, исчисляемой для каждого x_i с помощью выражений: $x_i = x_{i-1} + 1/m$, $y_i = y_{i-1} + m$, где $\Delta x = x_{end} - x_{start}$, $\Delta y = y_{end} - y_{start}$ и $m = \Delta y / \Delta x$. Алгоритм Брезенхема определяет, какие точки двумерного

растра нужно закрасить, чтобы получить аппроксимацию прямой линии между двумя заданными точками. Алгоритм Ву – это модифицированный алгоритм Брезенхема, обеспечивающий разложение отрезка в растр со сглаживанием.

Для формирования динамических сценариев предусматриваются следующие операции: формирование и вывод визуальной статической информации, то есть картографического фона, и динамической, которая представляет перемещения подвижных объектов на нем.

Исследования [2, 5, 6] показали, что для отображения перемещений относительно простых символов в матрице 8х8 точек и при их небольшом количестве (3–5), вполне допустимо применять синусно-косинусные преобразования.

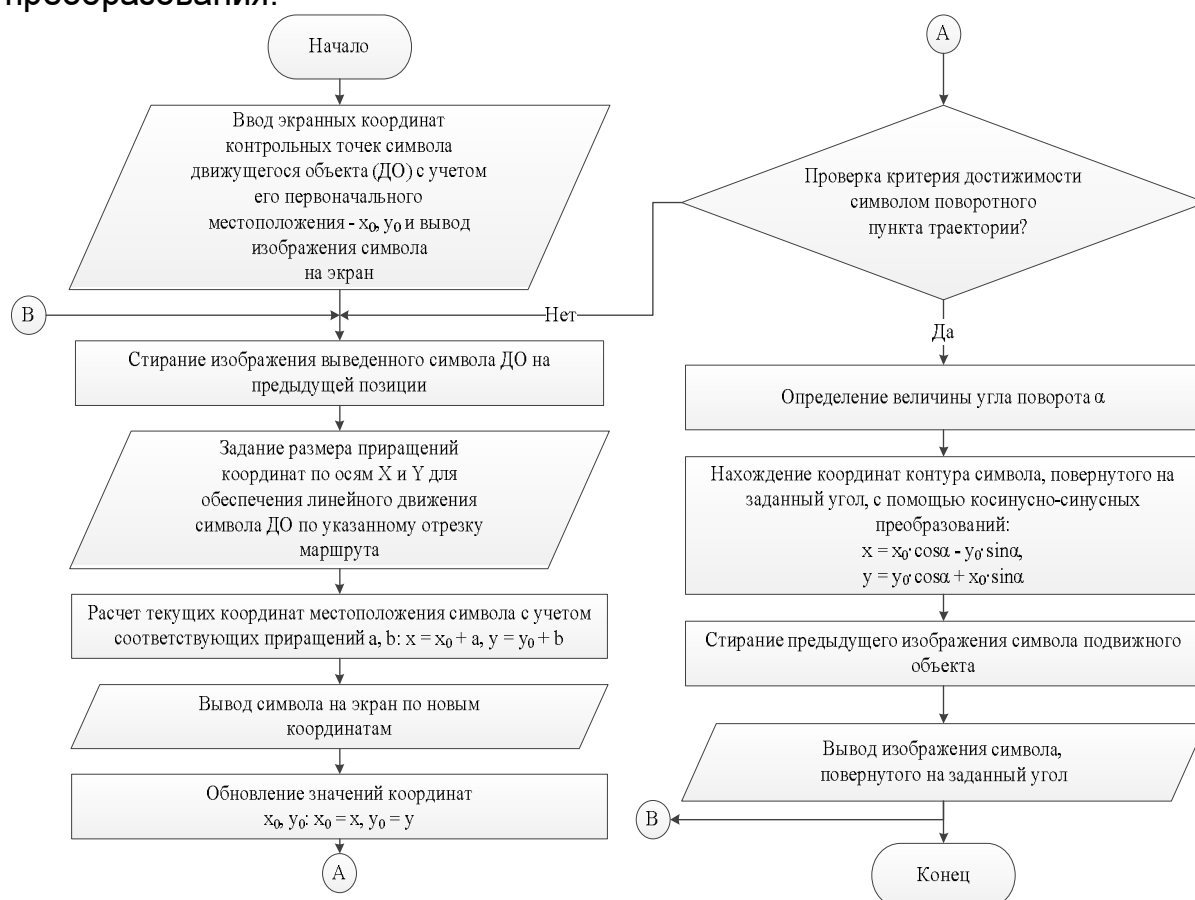


Рис 4. Алгоритм линейного перемещения и поворота сложного символа, реализующий метод синусно-косинусного преобразования

Для отображения линейного и вращательного перемещения сложного символа движущегося объекта с помощью метода синусно-косинусных преобразований предлагается алгоритм, который представлен на рис. 4.

Выводы

Проанализированы модели, методы, алгоритмы и средства визуализации линейно-вращательного перемещения сложного символа, движущегося в пространстве объекта. Предложены алгоритмы линейно-вращательного перемещения сложного символа объекта, представляемого как в растровом, так и в векторном форматах. Для линейного

перемещения и поворота на определенный угол исследуются двумерные аффинные преобразования. Выяснены причины возникновения искажений сложного символа объекта при реализации процедуры вращения и предложены приемы их устранения.

Список литературы

1. Аніскевич Л.В. Навігація і управління рухом безпілотних польових машин/Аніскевич Л.В., Войтюк Д.Г., Захарін Ф.М. – Ніжин: Видавець: ПП Лисенко М.М., 2012. – 96 с.
2. Васюхин М.И. Основы интерактивных навигационно-управляющих геоинформационных систем: Монография / М.И. Васюхин. – К.: Лири-К, 2006. – 536 с.
3. Венда В.Ф. Видеотерминалы в информационном взаимодействии (инженерно-психологические аспекты) / В.Ф. Венда. – М.: Энергия, 1980. – 198 с.
4. Вращение (поворот на заданный угол) векторного изображения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.programmersforum.ru/showthread.php?t=39977>
5. Капштык О.И. Методы и технологические средства представления и анализа воздушной обстановки в геоинформационных системах оперативного управления: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Капштык Олег Иванович. – К., 2010. – 188 с.
6. Касим А.М. Методы и средства формирования динамических сценариев в навигационно-управляющих комплексах: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Касим Аниса Мохаммадовна. – К., 2012. – 195 с.
7. Кравчук В.І. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин: монографія / В.І. Кравчук. – К: НАУ, 2005. – 208с.
8. Креденцар С.В. Методы и средства построения зрительных образов динамической обстановки в аэронавигационных геоинформационных системах реального времени: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Креденцар Светлана Максимовна. – К., 2010. – 174 с.
9. Смолий В.В. Методи і засоби синтезу і візуалізації зображень динамічних об'єктів у реальному часі: монографія / В.В. Смолий. – Луганськ: Вид-во Східноукраїнського наці. уні-ту ім. Володимира Даля, 2005. – 176 с.
10. Соотношение сторон (Aspect Ratio) и разрешение кадра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.provegas.ru/forum/showthread.php?t=773>
11. WinAPI Reference [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://winapi.freetchsecrets.com>

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЛІНІЙНО-ОБЕРТАЛЬНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ СКЛАДНИХ СИМВОЛІВ РУХЛИВИХ ОБ'ЄКТІВ НА БАЗІ АФІННИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

М.І. Васюхін, А.М. Касім, В.В. Долинний, В.Ю. Трохименко

Розглянуто питання генерації лінійного переміщення складного символу рухомого об'єкта на крок, а також його повороту на певний кут. Описано існуючі методи організації комбінованого лінійно-обертального переміщення складного символу об'єкта, зроблено оцінку

їх недоліків. Для повороту растрових і векторних символів використано метод синусно-косинусних перетворень.

Ключові слова: лінійно-обертальне переміщення, складний символ об'єкта, спотворення образу, метод синусно-косинусних перетворень, афінні перетворення

SOFTWARE IMPLEMENTATION LINE-ROTATIONAL MOVEMENT OF COMPLEX CHARACTERS MOVING OBJECTS BASED AFFINE TRANSFORMATIONS

M. Vasyuhin, A. Kasim, V. Dolyunny, V. Trokhymenko

The problems of generating linear movement of the movable object of a complex character on the pitch, as well as its rotation by a specific angle. Describes current methods of organizing a combined linear and rotational movement of the complex character of the object, made an assessment of their shortcomings. To rotate raster and vector characters used method of sine-cosine transforms.

Keywords: line-rotational movement, complex character of the object, the distortion of the image, the method of sine-cosine transformations, affine transformations

УДК 621.314

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ПОВЕРХНІ ЗЕРНИНИ НА РОЗПОДІЛ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

К.В. Дубовенко, доктор технічних наук

Д.О. Захаров, асистент

Миколаївський національний аграрний університет

e-mail: zakharov.dim@gmail.com

Для визначення умов генерації озону коронним розрядом в об'ємі зернової маси проаналізовано структуру поверхні зернівок злакових культур. Обґрунтовано, що наявність неоднорідностей їх поверхні впливає на характеристики розподілу електричного поля в міжзернинних проміжках насипного збіжжя. Показано, що велика кількість неоднорідностей на поверхні зернівки пшениці призводить до значного підсилення напруженості електричного поля та об'єму області його збурення.

Ключові слова: структура поверхні, насипне зерно, напруженість електричного поля

Нині актуальним є питання підвищення ефективності та зменшення собівартості знезараження зернової продукції. Одним із способів

їх недоліків. Для повороту растрових і векторних символів використано метод синусно-косинусних перетворень.

Ключові слова: лінійно-обертальне переміщення, складний символ об'єкта, спотворення образу, метод синусно-косинусних перетворень, афінні перетворення

SOFTWARE IMPLEMENTATION LINE-ROTATIONAL MOVEMENT OF COMPLEX CHARACTERS MOVING OBJECTS BASED AFFINE TRANSFORMATIONS

M. Vasyuhin, A. Kasim, V. Dolyunny, V. Trokhymenko

The problems of generating linear movement of the movable object of a complex character on the pitch, as well as its rotation by a specific angle. Describes current methods of organizing a combined linear and rotational movement of the complex character of the object, made an assessment of their shortcomings. To rotate raster and vector characters used method of sine-cosine transforms.

Keywords: line-rotational movement, complex character of the object, the distortion of the image, the method of sine-cosine transformations, affine transformations

УДК 621.314

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ ПОВЕРХНІ ЗЕРНИНИ НА РОЗПОДІЛ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

К.В. Дубовенко, доктор технічних наук

Д.О. Захаров, асистент

Миколаївський національний аграрний університет

e-mail: zakharov.dim@gmail.com

Для визначення умов генерації озону коронним розрядом в об'ємі зернової маси проаналізовано структуру поверхні зернівок злакових культур. Обґрунтовано, що наявність неоднорідностей їх поверхні впливає на характеристики розподілу електричного поля в міжзернинних проміжках насипного збіжжя. Показано, що велика кількість неоднорідностей на поверхні зернівки пшениці призводить до значного підсилення напруженості електричного поля та об'єму області його збурення.

Ключові слова: структура поверхні, насипне зерно, напруженість електричного поля

Нині актуальним є питання підвищення ефективності та зменшення собівартості знезараження зернової продукції. Одним із способів

зnezараження зернових є обробка озоном, який утворюється внаслідок проходження плазмохімічних реакцій, викликаних коронними розрядами в об'ємі зернової маси [1]. Проте для аналізу кількісних та якісних характеристик утворення озону в зерновій масі необхідно враховувати особливості структури поверхні зернівок, зокрема наявність мікровиступів на поверхні з урахуванням їх взаємного розташування.

У роботі [4] показано, що відстань між зернинами та радіус округлення поверхні зернин суттєво впливає на розподіл характеристик електричного поля в міжзернинному просторі. Публікація [8] присвячена дослідженню будови зернівок пшениці. Проте слід зазначити, що в цих роботах не приділено достатньої уваги визначенню геометричних розмірів неоднорідностей на поверхні зернівок, наявність яких, зокрема, є характерною і для пшениці. Дослідження розмірів мікровиступів є необхідним, оскільки в роботах [6, 7] доведено, що наявність мікровиступів та мікровключень суттєво впливає на значення напруженості електричного поля та неоднорідність його розподілу у просторі. На основі цих робіт можна зробити припущення, що наявність неоднорідностей на поверхні зернини сприяє розвитку коронних розрядів в об'ємі зернової маси.

Мета досліджень – визначення геометричних розмірів мікрровиступів на поверхні зернівок пшениці, з'ясування впливу мікрровиступів на розподіл характеристик електричного поля в зерновій масі.

Матеріали та методика досліджень. Для визначення характеру неоднорідності поверхні зернівок пшениці у роботі використано мікроскоп MICROMED XS-2610 з цифровою фотокамерою MICROmed® 3.0 Mega CMOS. Отримані фотографії (рис. 1, а-г) проаналізовано за допомогою програми TSVIEW, яка надається в комплектації камери, та калібрувального скла (рис. 1, д) з ціною поділки 0,01 мм. Для отримання достовірних даних виконано вибірку зерен та проведено ряд вимірювань, які свідчать про те, що неоднорідності на поверхні зернини мають форму, близьку до циліндричної, з середнім діаметром близько 0,012 мм, довжиною 0,35 – 0,6 мм, середньою відстанню між ними 0,04 – 0,06 мм.

Для аналізу впливу наявності неоднорідностей на поверхні зернини на розподіл напруженості електричного поля в першому наближенні запропоновано використати усереднені значення розмірів неоднорідностей: довжина 0,42 мм, діаметр 0,012 мм та прийнято середню відстань між неоднорідностями 0,05 мм.

Для визначення впливу неоднорідностей на характер розподілу напруженості електричного поля в міжзернинному проміжку потрібно розв'язати проблему теорії електричного поля. Її можна сформулювати як знаходження функції скалярного потенціалу, що задовольняє еліптичному рівнянню в часткових похідних другого порядку (1) в циліндричній системі координат:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = 0, \quad (1)$$

де ε – відносна діелектрична проникність середовища; r, z – відповідно радіальна та аксіальна координата.

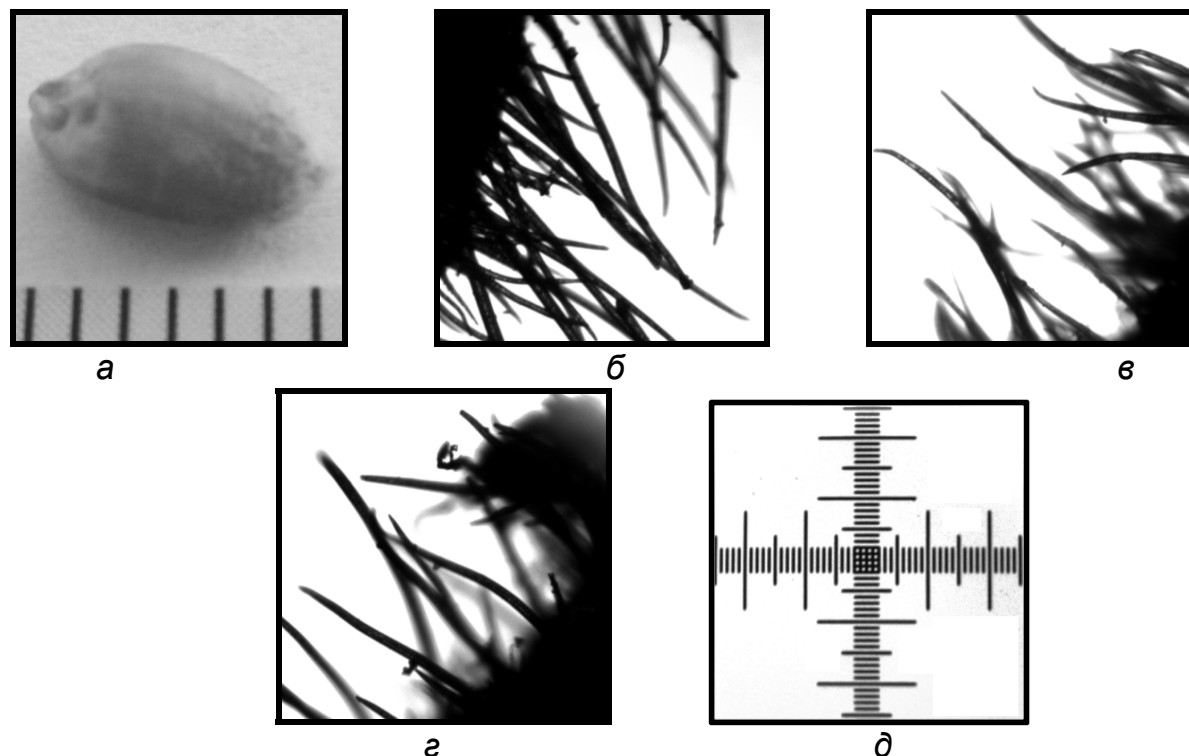


Рис. 1. Фотографії, зроблені за допомогою мікроскопа MICROMED XS-2610:

а – зовнішній вигляд зернівки на фоні вимірювальної шкали з ціною поділки 1 мм; б, в, г – приклади реєстрації мікровиступів на поверхні зернівок пшениці зі збільшенням в 40 разів; д – фото калібрувального скла з ціною поділки 0,01 мм при збільшенні в 40 разів

За відомим розподілом потенціалу вектор напруженості електричного поля E та її модуль визначаються з використанням рівнянь (2), (3):

$$\vec{E} = -\text{grad}\phi = -\left(r\vec{i}\frac{\partial\phi}{\partial r} + \vec{j}\frac{\partial\phi}{\partial z}\right); \quad (2)$$

$$|E| = \left[\left(\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial z}\right)^2\right]^{0.5}. \quad (3)$$

Результати досліджень. Для вирішення поставленого завдання застосовано програмне забезпечення FEMM 4.2. Пакет програм функціонує на основі методу кінцевих елементів [5]. Його успішно використовували для аналізу роботи різних вузлів високовольтного устаткування [3]. На рис. 2 наведено розрахункові області, які містять фрагменти об'єму зернин пшениці 1 із неоднорідностями 2 та розподіл напруженості електричного поля в міжзернинному проміжку з одним мікровиступом на зернині (рис. 2, а) та групою мікровиступів на поверхні зерен (рис. 2, б). Результати моделювання розподілу напруженості електричного поля свідчать про те, що при збільшенні кількості

мікровиступів зростає середнє значення напруженості електричного поля та об'єм області з підвищеною напруженістю. Так, із рис. 3 видно, що напруженість електричного поля є найбільшою біля самого мікровиступу, що пояснюється високою неоднорідністю електричного поля в цій зоні. На вістрях мікровиступів напруженість електричного поля втричі перевищує фонові значення. Також слід зазначити, що характер напруженості електричного поля між електродами залежить від їх кількості та розташування (див. рис. 3).

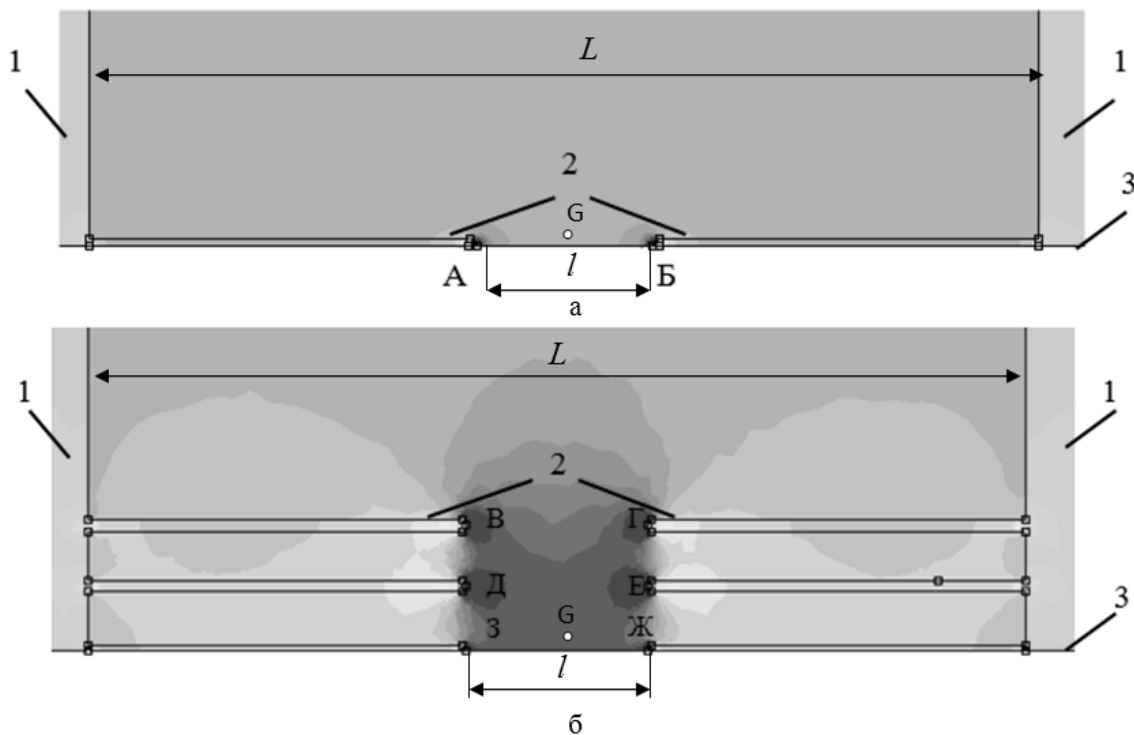


Рис. 2. Фрагмент розрахункової області між зернівками:

а – з одним мікровиступом на кожному об'єкті; б – з трьома мікровиступами на кожному об'єкті; 1 – зернівки пшениці; 2 – мікровиступи на поверхні зернівок пшениці; 3 – вісь симетрії

На рис. 4 показано, як змінюється значення напруженості електричного поля в центрах зон збурення (точка G) на рис. 2, а і рис. 2, б від відстані між мікровиступами. Видно, що значення напруженості електричного поля в порівнянні з фоновим значенням збільшуються при зменшенні відстані l між мікровиступами.

На рис. 5 побудовано характерні для випадків розрахункових областей, зображених на рис. 2, а і рис. 2, б, залежності об'єму збуреного електричного поля від відстані l . З аналізу об'ємів областей збуреного електричного поля (див. рис. 5) видно, що збільшення кількості мікровиступів на поверхні зернівок пшениці в три рази призводить до зростання на два-три порядки об'єму розрахункової області зі збуреним електричним полем.

Слід зазначити, що у разі випадку з одним мікровиступом (див. рис. 2, а) при зміні відстані між зернами L та сталій відстані між мікровиступами зернин відносна напруженість електричного поля в характерній точці

розрахункової області G несуттєво відрізняється від фонових значень, тому що область збурення практично не досягає цієї точки (рис. 6). Збільшення кількості мікроступів призводить до підвищення відносної напруженості на 5–10 % (крива 2 на рис. 6) порівняно з варіантом, зображеним на рис. 2, а.

Зміна об'єму збурених областей при зміні відстані L для випадків, зображених на рис. 2, а і рис. 2, б, характеризуються відповідно кривою 1 та кривою 2 на рис. 7.

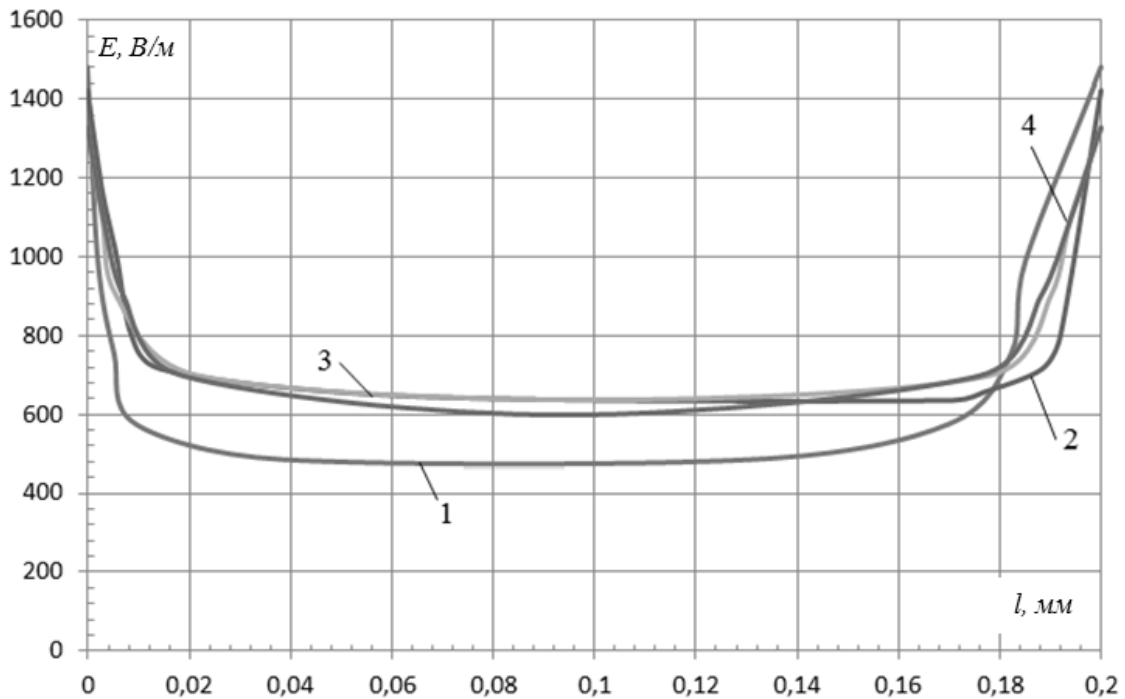


Рис. 3 . Розподіл напруженості електричного поля в міжзернинному проміжку, для випадків зображених на рис. 2:

1 – між точками А і Б; 2 – між точками В і Г; 3 – між точками Д і Е; 4 – між точками Ж і З

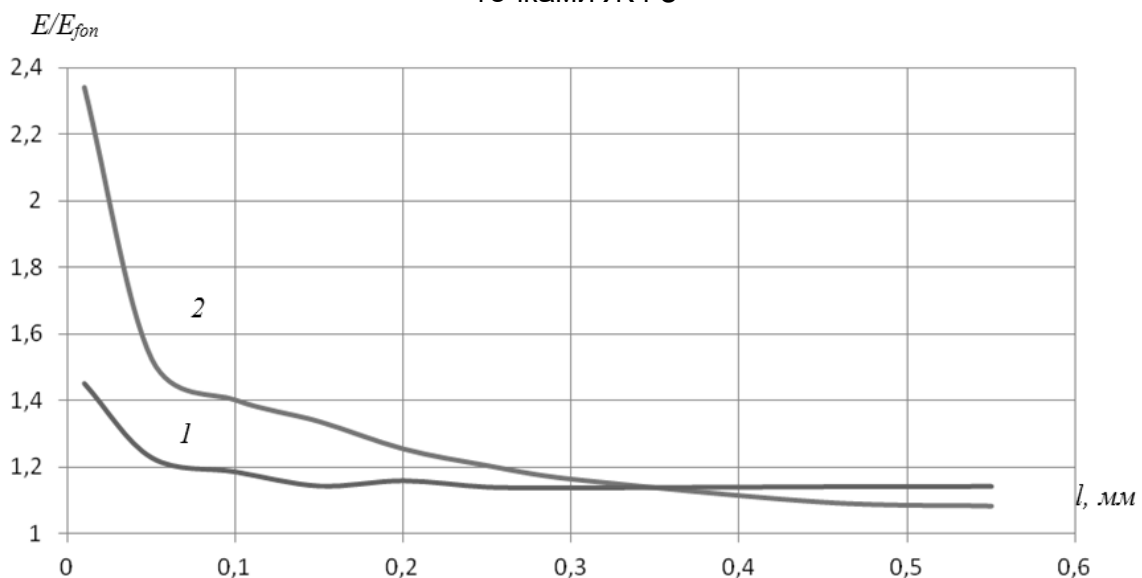


Рис. 4. Характеристики розподілу відносної напруженості електричного поля в характерній точці розрахункової області G залежно від відстані l:

1 – для конфігурації розрахункової області у випадку, зображеному на рис. 2, а;
2 – для конфігурації розрахункової області у випадку, зображеному на рис. 2, б

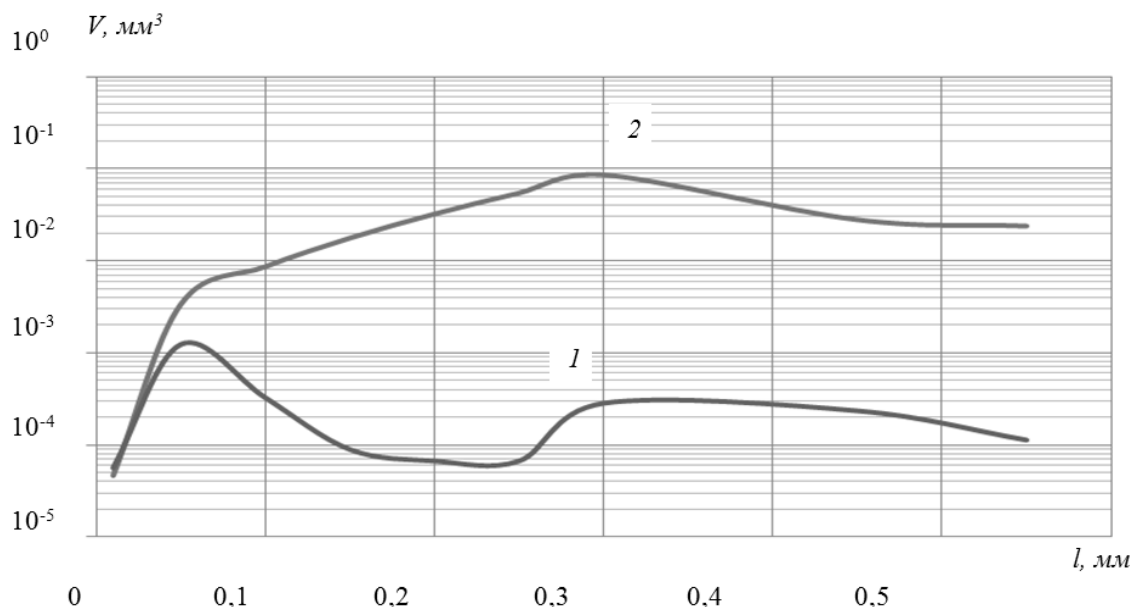


Рис. 5. Характерна залежність об'єму збуреного електричного поля мікровиступами від відстані l:

1 – для розрахункової області на рис. 2, а; 2 – для розрахункової області на рис. 2, б

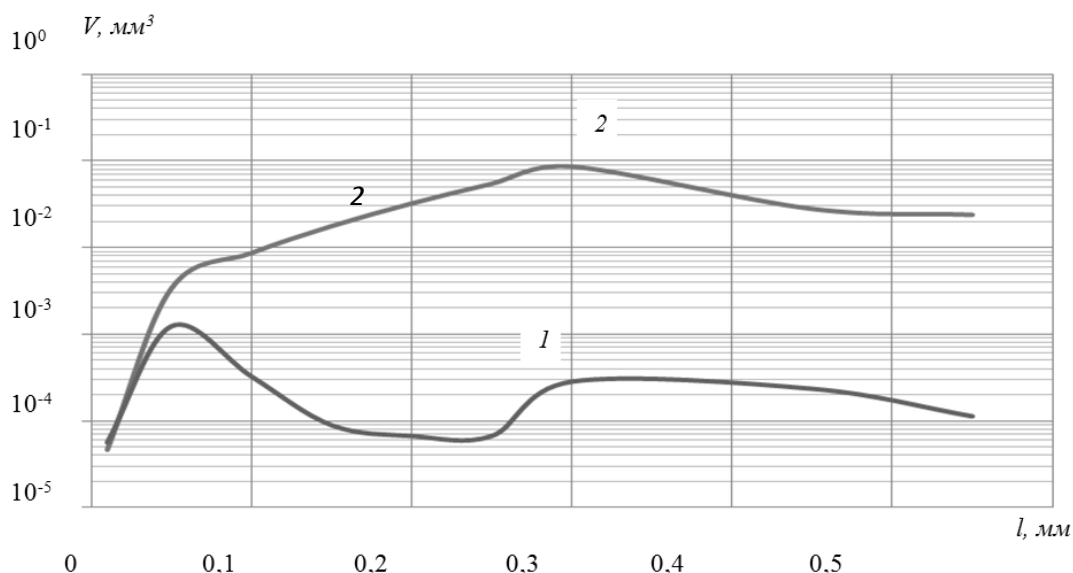


Рис. 6. Характеристики розподілу відносної напруженості електричного поля в характерній точці розрахункової області G залежно від відстані L:

1 - для конфігурації розрахункової області у випадку, зображеному на рис. 2, а;
2 - для конфігурації розрахункової області у випадку, зображеному на рис. 2, б

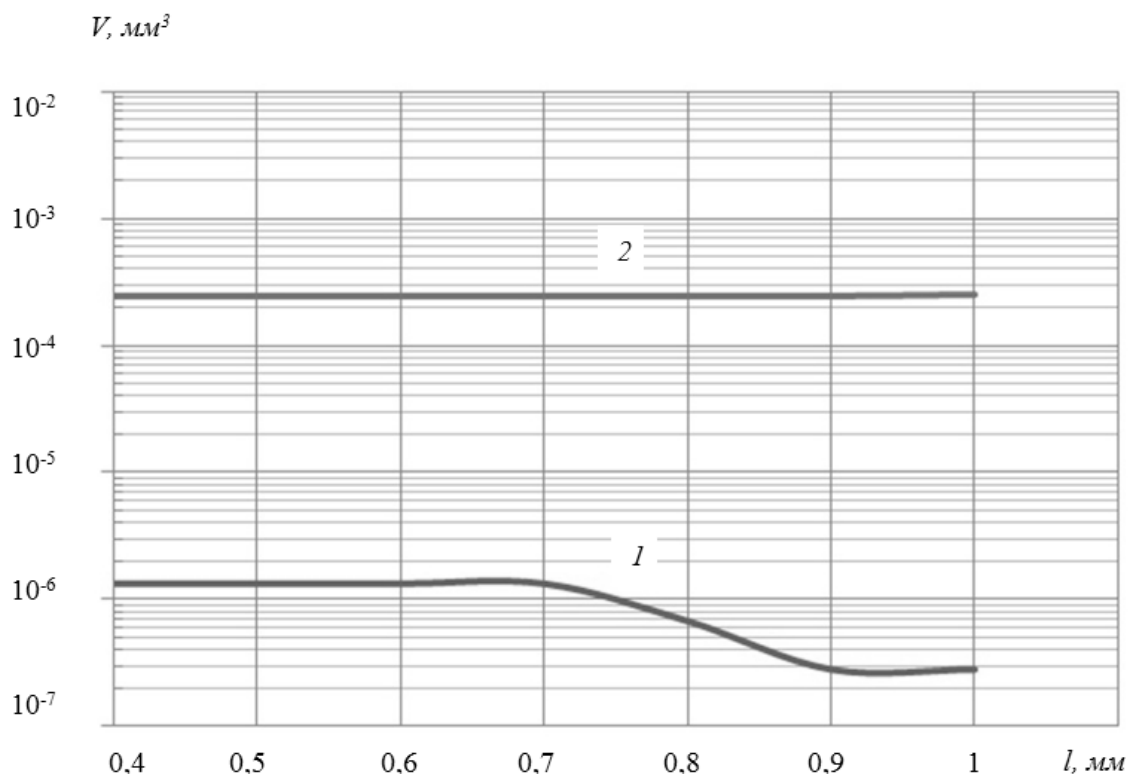


Рис. 7. Характерна залежність об'єму збуреного електричного поля мікровиступами від відстані L:

1 – для розрахункової області на рис. 2, а; 2 – для розрахункової області на рис. 2, б

Висновки

У роботі на основі отриманих даних про структуру поверхні зернин пшениці виконано чисельне моделювання розподілу напруженості електричного поля залежно від кількості та розмірів неоднорідностей на їх поверхні. На основі аналізу отриманих даних можна стверджувати про те, що незначне збільшення кількості неоднорідностей на поверхні зернин призводить до підсилення напруженості електричного поля на 5–10 % і значного збільшення об'єму збуреної електричним полем зони на два-три порядки, що створює сприятливі умови для розвитку коронних розрядів в об'ємі зернової маси. Тому, для аналізу генерації озону коронним розрядом в об'ємі насипної зернової маси [2] доцільно враховувати неоднорідність поверхні зернівок.

Список літератури

1. Берека О.М. Закономірності зміни питомої електропровідності насіннєвої маси в електричних полях високої напруги / О.М. Берека // Аграрна наука і освіта. – 2008. – Т.9, №5/6. – С. 146 – 148.
2. Дубовенко К.В. Знезараження зернової продукції імпульсним коронним розрядом / К.В. Дубовенко, Д.О. Захаров // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2012. – №61 (967). – С. 139 – 149.
3. Дубовенко К.В. Інформаційна база автоматизованого проектування компактних імпульсних електротехнічних систем / К.В. Дубовенко // Вісник Нац.

ун-ту «Львівська політехніка». Серія «Електроенергетичні та електромеханічні системи». – 2006. – Вип. 563. – С. 194 – 201.

4. Дубовенко К.В. Моделирование характеристик электрического поля в гетерогенному середовищі тверда фаза–газ за експериментально визначеною діелектричною проникністю / К.В. Дубовенко, Д.О. Захаров // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2013. – №65 (1038). – С. 118 – 128.

5. Ильин В.П. Численные методы решения задач электрофизики / В.П. Ильин. – М.: Наука, 1985. – 334 с.

6. Кучерявая И.Н. Компьютерный анализ электромеханических напряжений в полиэтиленовой изоляции силового кабеля при наличии микровключений / И.Н. Кучерявая // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 10–16.

7. Перетятко Ю.В. Моделирование неоднородных электрических полей в высоковольтной твердой полимерной изоляции с гетерогенными микровключениями / Ю.В. Перетятко., А.А. Щерба // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія «Електроенергетичні та електромеханічні системи». – 2007. – № 597. – С. 123–129.

8. Танайлова Е.А. Анатомоморфологическая характеристика зерновок яровой пшеницы сортов *triticism durum*: дис...кандидата биологических наук: 03.00.05 / Танайлова Елена Александровна. – Саратов: Саратовский гос. ун-т., 2009. – 180 с.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕРНА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

К.В. Дубовенко, Д.А. Захаров

Для определения условий генерации озона коронным разрядом в объеме зерновой массы проанализирована структура поверхности зерновок злаковых культур. Обосновано, что наличие неоднородностей их поверхности влияет на характеристики распределения электрического поля в межзерновых промежутках насыпного зерна. Показано, что большое количество неоднородностей на поверхности зерновки пшеницы приводит к значительному усилению напряженности электрического поля и объема области его возмущения.

Ключевые слова: структура поверхности, насыпное зерно, напряженность электрического поля

ANALYSIS OF THE GRAIN SURFACE STRUCTURE INFLUENCE ON THE ELECTRIC FIELD DISTRIBUTION

K. Dubovenko K., D.Zakharov

For definition of the ozone generation conditions on the base of the grain surface structure analysis it is grounded by corona discharge in the bulk grain that non-uniform surface roughness of the grains influences the electric field characteristic distribution in the gaps between them. It is shown that the great

amount of non-uniform inclusions on the grain surface leads to considerable increase in electric field intensity and the volume of the excited field.

Keywords: *surface structure, bulk grain, electric field intensity*

УДК 004.94:658.01

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОЩУВАННЯ, ЗБОРУ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР У БІОМЕТАН

**С.А. Шворов, доктор технічних наук
Д.С. Комарчук, кандидат технічних наук
П.Г. Охріменко, Д.В. Чирченко, аспіранти***
e-mail: dmitrui@mail.ru

Запропоновано структуру бази знань інтелектуальної системи підтримки та прийняття рішень щодо організації вирощування, збору та переробки біомаси у біометан. Розглянуто основні задачі щодо оптимального планування засіву, збору та перетворення у біогаз енергетичних культур та інших органічних відходів.

Ключові слова: *інтелектуальна система підтримки та прийняття рішень, органічна сировина, біогаз, енергетичні культури, біометан*

Як відомо, відновлювані джерела енергії (ВДЕ) динамічно і послідовно зростають. Один із важливих секторів ВДЕ у світі – це виробництво та енергетичне використання біогазу [4]. Важливим загальнодержавним завданням для України є підвищення виробництва біометану та його введення до газотранспортної системи за «зеленим тарифом». Для подачі біометану в газопроводи у західних країнах вже використовують технологію, за допомогою якої забезпечується відокремлення CO₂ від біогазу та отримання біометану з вмістом до 95 – 98%. На вітчизняному ринку такі технології мають велику перспективу тому, що в будь-якій точці України є розподільні газові мережі, до яких можна підключитися. При цьому для отримання біометану планується використання не тільки різноманітних відходів із великих ферм, а й вирощування, збір та переробка у біогазових комплексах спеціальних енергетичних культур (ЕК) сільгоспугідь. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є широке застосування інформаційних технологій, за допомогою яких повинно здійснюватися проведення моніторингу існуючої та прогнозування перспективної бази органічної сировини (ОС) з метою її

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор С.А. Шворов.

© С.А. Шворов, Д.С. Комарчук,
П.Г. Охріменко, Д.В. Чирченко, 2015

amount of non-uniform inclusions on the grain surface leads to considerable increase in electric field intensity and the volume of the excited field.

Keywords: *surface structure, bulk grain, electric field intensity*

УДК 004.94:658.01

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОЩУВАННЯ, ЗБОРУ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР У БІОМЕТАН

**С.А. Шворов, доктор технічних наук
Д.С. Комарчук, кандидат технічних наук
П.Г. Охріменко, Д.В. Чирченко, аспіранти***
e-mail: dmitrui@mail.ru

Запропоновано структуру бази знань інтелектуальної системи підтримки та прийняття рішень щодо організації вирощування, збору та переробки біомаси у біометан. Розглянуто основні задачі щодо оптимального планування засіву, збору та перетворення у біогаз енергетичних культур та інших органічних відходів.

Ключові слова: *інтелектуальна система підтримки та прийняття рішень, органічна сировина, біогаз, енергетичні культури, біометан*

Як відомо, відновлювані джерела енергії (ВДЕ) динамічно і послідовно зростають. Один із важливих секторів ВДЕ у світі – це виробництво та енергетичне використання біогазу [4]. Важливим загальнодержавним завданням для України є підвищення виробництва біометану та його введення до газотранспортної системи за «зеленим тарифом». Для подачі біометану в газопроводи у західних країнах вже використовують технологію, за допомогою якої забезпечується відокремлення CO₂ від біогазу та отримання біометану з вмістом до 95 – 98%. На вітчизняному ринку такі технології мають велику перспективу тому, що в будь-якій точці України є розподільні газові мережі, до яких можна підключитися. При цьому для отримання біометану планується використання не тільки різноманітних відходів із великих ферм, а й вирощування, збір та переробка у біогазових комплексах спеціальних енергетичних культур (ЕК) сільгоспугідь. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є широке застосування інформаційних технологій, за допомогою яких повинно здійснюватися проведення моніторингу існуючої та прогнозування перспективної бази органічної сировини (ОС) з метою її

*Науковий керівник – доктор технічних наук, професор С.А. Шворов.

© С.А. Шворов, Д.С. Комарчук,
П.Г. Охріменко, Д.В. Чирченко, 2015

переробки на біогазових комплексах (БГК) для отримання максимальних обсягів біометану.

Результати проведеного аналізу наукових праць [3, 2, 6, 9, 10] показують, що на цей час недостатньо повно розглянуто питання розробки та застосування інтелектуальних систем підтримки та прийняття рішень (СППР).

Мета досліджень – обґрунтування структури бази знань інтелектуальної СППР щодо організації планування вирощування, збору та переробки біомаси у біометан.

Матеріали та методика досліджень. Однією з найважливіших задач, яка вирішується за допомогою інтелектуальної СППР, є розміщення посівів різних енергетичних культур на спеціально визначеній місцевості з урахуванням геофізичних особливостей для кожної культури.

Кращий результат, з точки зору виходу біометану, дають субстрати з високою концентрацією енергії: свіжа трава, бадилля буряка, кукурудза, зернові рослини. Найменший вихід біогазу з органічного сухого субстрату має соломка [12]. Видобуток біогазу з неї можна збільшити при застосуванні хімічних засобів, зокрема обробки соломи розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в поєднанні з екструзією [11].

На сьогоднішній день силосна кукурудза є найважливішою культурою для використання в біогазових установках. Техніка, яка необхідна для збору та перевезення цієї культури, як правило, завжди є в наявності на підприємствах. Кукурудза легко силосується і навіть при чистому використанні не викликає порушень у процесі роботи біогазових установок. Нині вже є спеціальні сорти кукурудзи для використання в біогазових установках. Оптимальним часом для збору врожаю є його готовність для силосування та отримання максимальних обсягів біометану. Як правило, кукурудза під час збору повинна мати вміст сухої речовини 28–35 % і перебувати у стані між молочною стиглістю і придатністю для борошна. У сприятливих для вирощування ЕК районах від різних сортів можна отримати з посівних площ більше ніж 8000 м³ метану з 1 га вирощеної біомаси [12]. Із цією метою необхідно за допомогою СППР здійснити: вибір сортів і послідовність їх вирощування протягом року з високим виходом від кожного сорту органічної сухої маси з 1 га; вибір найкращої сполучуваності поживних речовин при їх змішуванні; оптимізацію складових речовин, виходячи з максимального потенціалу утворення метану серед різних культур (наприклад, на основі підвищення вмісту жирів через інтеграцію масляних культур). Крім того, у СППР повинні враховуватися такі умови, як агрометеорологічні. Водночас у СППР забезпечується прогнозування щодо збирання ЕК з декількох полів різної площі. Для забезпечення збиральної компанії обов'язково враховуються матеріально-технічні та паливно-енергетичні витрати.

Процес планування змісту та часу виконання робіт поділяється на декілька етапів, а саме: сівба ранніх озимих культур та їх збирання; сівба наступних ЕК та їх збирання. Кожний із перерахованих етапів планування

має свої особливості, і для їх реалізації доцільно передбачити у СППР відповідну базу даних та знань.

Крім того, за допомогою СППР обґрунтовується рішення про доцільність залучення до збирання необхідної кількості збиральних комплексів і транспортних засобів. При цьому, за графіком календарної потреби в комбайнах для своєчасного збирання ЕК на всіх полях оцінюється можливість виконання збирального проекту власним комбайновим парком, а якщо необхідно, обґрунтовується доцільність і потреба залучення додаткових комбайнів інших підприємств.

Розроблений план виконання робіт на основі прогнозування термінів збору ЕК на окремих полях є першим етапом відпрацювання за допомогою СППР виробничої програми того чи іншого проекту збиральної компанії.

З початком безпосереднього виконання збиральних робіт можливі відхилення реальних обсягів збирання ЕК від планових. Ці відхилення зумовлені різними причинами, головними з яких є події агрометеорологічної складової проектного середовища – випадання роси та дощів. Окрім того, згадані відхилення також виникають із технічних причин – через відмови комбайнів і транспортних засобів, а також із соціальних причин. Внаслідок цього виконання робіт у проектах характеризується нестабільністю, яка вимагає обґрунтування за допомогою СППР та здійснення управлінських дій на збиральну компанію.

Результати досліджень. За допомогою СППР відпрацьовуються проекти збирання ЕК, обґрунтовуються рішення щодо розподілу технічних засобів (комбайнів та автомобілів) на полях. Залежно від наявності технічних засобів і прогнозованих умов $u^p \in U$ збиральної компанії генерується множина варіантів $\{V\}$ виконання збиральних робіт. Серед існуючої множини таких варіантів визначають раціональний $v^p \in V$, який забезпечує отримання максимального прибутку (P) від реалізації біометану:

$$P(v^p) = D - (B + Z) \rightarrow \max, \quad (1)$$

при $u^p \in U$,

де D , B , Z – відповідно прогнозований дохід від реалізації біометану, втрати v^p -го варіанта збирання, перевезення та переробки ЕК для отримання біометану, грн. [7, 8].

Іншими словами, для визначення очікуваного прибутку слід знати значення очікуваного доходу та затрат. Розрахувати їх можна лише за умови наявності початкових даних – обсягів зібраного і втраченого врожаю, затрат на перевезення і переробку ОС та ринкової вартості біометану за «зеленим тарифом». Очікуваний обсяг визначається як сума прогнозованих обсягів зібраного врожаю окремих ЕК.

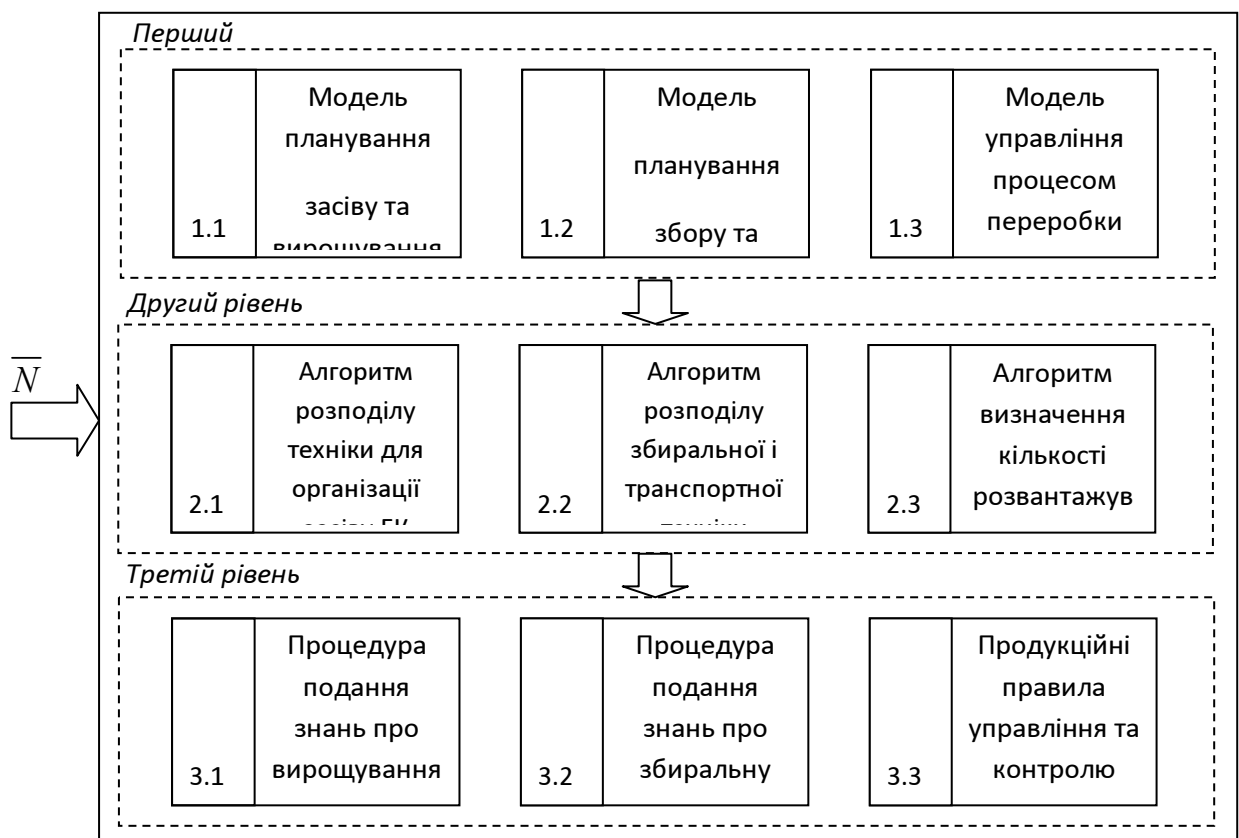
Серцевиною інтелектуальної СППР є її база знань, тому що всі алгоритми функціонування системи ґрунтуються на її знаннях. Згідно з

принципами побудови баз знань інтелектуальних систем синтезуємо структуру бази знань СППР і її знання, що в неї входять.

Призначенням бази знань СППР є зберігання сукупності одиниць знань, що являють собою формалізоване відображення об'єктів (технічних засобів), їх взаємозв'язків і дій над ними, а також знань про процес вирішення задач управління збиральною кампанією.

Для врахування характеру поставлених задач управління збиральною кампанією база знань СППР синтезується у вигляді сукупності трьох рівнів знань (див. рисунок). Перший рівень призначено для зберігання знань з моделювання процесів засіву і вирощування ЕК, збору і перевезення ОС, а також управління переробкою ЕК, що забезпечує вирішення задачі прогнозу показників (1). Крім того, на першому рівні здійснюється постійний моніторинг ділянок із додатковою ОС.

Другий рівень знань містить алгоритми розподілу збиральної та транспортної техніки по полях, а також алгоритми визначення кількості розвантажувальних механізмів на БГК. Таким чином, другий рівень відповідає за зберігання знань, необхідних для вирішення задач розподілу техніки для організації засіву, вирощування, збирання, транспортування та переробки ЕК. Третій рівень містить знання про процедури вирішення задач планування, контролю й оперативного управління посівною та збиральною кампанією, тобто керуючі знання системи, які необхідні для обґрунтування рішень, що приймаються, для отримання максимального прибутку (P).



Структура бази знань інтелектуальної СППР

До основних знань першого рівня бази знань належать: модель планування засіву та вирощування ЕК (блок 1.1), модель планування збору та перевезення ЕК (блок 1.2) і модель управління процесом переробки ЕК (блок 1.3). У склад другого рівня знань входять такі знання: алгоритм розподілу техніки для організації засіву ЕК (блок 2.1), алгоритм розподілу збиральної та транспортної техніки (блок 2.2), алгоритм визначення кількості розвантажувальних засобів на БГК (блок 2.3).

Отже, перший і другий рівень знань містить предметні знання системи. Третій рівень бази знань складається з таких керуючих процедур: вирішення задачі планування щодо засіву та вирощування ЕК (блок 3.1), вирішення задачі збиральної кампанії (блок 3.2) і процедури вирішення задачі оперативного управління та контролю (блок 3.3). На вхід бази знань потрапляють дані $\overline{N}$, на основі яких проводиться її навчання.

Охарактеризуємо кожний складовий блок бази знань.

Блок 1.1 містить логічну модель подання знань про планування засіву та вирощування ЕК на обґрунтовано визначених ділянках. Одночасно визначається тип, кількість та якість ЕК, потенційний обсяг біогазу (метану), який можна отримати, використовуючи дану ОС, а також необхідні витрати. На основі визначених ЕК за допомогою методу лінійного програмування [1] визначається оптимальний план щодо засіву ЕК на різних ділянках місцевості.

Блок 1.2, що містить динамічну модель планування збору та перевезення ЕК, використовується для прогнозування показників роботи технічних засобів у різних технологічних умовах. Зокрема на основі логічної моделі визначається порядок зміни станів різних технічних засобів, виконані ними певні дії, стан полів, на яких проводяться роботи. Також моделюється закріплення об'єктів між собою, зокрема закріплення певного комбайна за полем, закріплення певного транспортного засобу за комбайном і за розвантажувальним засобом при мінімальних витратах пального. Для вирішення цієї задачі застосовується еволюційний метод та метод гілок і границь.

Продукційні правила управління і контролю з блока 1.3 є основою для здійснення контролю та управління процесом збирально-транспортних робіт і переробкою ЕК. Ці правила дозволяють сформулювати рекомендації щодо перепланування робіт або здійснення донавчання системи.

Алгоритм розподілу збиральної техніки з блока 2.1 призначений для формування календарного плану робіт, що задає послідовність і термін засіву ЕК на закріплених полях.

До блока 2.2 входить алгоритм розподілу техніки, який призначено для визначення варіантів закріплення комбайнів та транспортних засобів за певними ділянками з метою мінімізації часу простою збиральної та транспортної техніки на полі. Крім того, у блоці 2.2 визначаються більш ефективні варіанти закріплення збиральних комбайнів за полями впродовж збиральної кампанії.

Зокрема мінімізацію простою транспортних засобів на пунктах зберігання ЕК в очікуванні розвантажування повинен забезпечувати алгоритм визначення кількості розвантажувальних засобів, що міститься у блоці 2.3. Цей алгоритм призначений як для розрахунку необхідної кількості розвантажувальних механізмів і естакад на пунктах зберігання ЕК, так і для визначення часу очікування розвантажування транспортними засобами у черзі при заданій кількості розвантажувальних засобів.

Процедури вирішення задач управління посівною і збиральною кампанією з блоків 3.1, 3.2, 3.3 ґрунтуються на знаннях, що містяться на першому та другому рівні бази знань, і призначені для підтримки прийняття управлінських рішень у режимі реального часу. На основі попереднього та наявного підрахунків доходу від реалізації біометану, затрат на засів, вирощування, збір та транспортування ЕК, а також вивезення на поля з БГК органічних добрив за формулою (1) визначається прибутковість підприємства.

Запропонована структура бази знань дозволяє зберігати у впорядкованому вигляді інформацію, яка необхідна для розв'язання задач управління посівною, збиральною кампанією та процесом переробки біомаси у біометан. Наведений склад бази знань дає можливість системі використовувати при підтримці прийняття рішень з управління процесом вирощування, збору та переробки ОС знання різних типів, а саме предметні та керуючі.

Таким чином, в умовах складного динамічного середовища, що характеризуються постійною невизначеністю та мінливістю багатьох факторів, основою успішного функціонування БГК є ухвалення оптимальних управлінських рішень за допомогою запропонованої СППР щодо організації вирощування, збору та переробки ОС для одержання максимальних обсягів біометану.

Висновки

На основі проведеного аналізу задач управлінської діяльності, що впливають на ефективність виробництва біометану, синтезована структура бази знань системи підтримки прийняття рішень, яка максимально пристосована до вирішення завдань щодо організації планування вирощування, збору та переробки органічної сировини в біометан для його подальшого постачання у розподілену газотранспортну систему за «зеленим тарифом».

Список літератури

1. Вітлінський В.В. Математичне програмування: Навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. / Вітлінський В.В., Наконечний С.І., Терещенко Т.О. – К.: КНЕУ, 2001. – 248 с.
2. Гелетуша Г.Г. Брошура: «Развитие биогазовых технологий в Украине и Германии: нормативно-правовое поле, состояние и перспектива» / Г.Г. Гелетуша, П.Д. Кучерук, Ю.Б. Матвеев. – Киев-Гюльцов, 2013. – 71 с.

3. Гелету́ха Г.Г. Перспективи біогазу в Україні. – Економічна правда, 2013 [Електронний ресурс] / Г.Г. Гелету́ха. – Режим доступу: <http://www.epravda.com.ua/columns/2013/07/3/383399/>.
4. Гелету́ха Г.Г. Про майбутнє біометану [Електронний ресурс] / Г.Г. Гелету́ха. – Режим доступу: <http://forbes.ua/ua/opinions/1390912-pro-majbutne-biometanu>.
5. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: теория, синтез, эффективность / В.А. Тарасов, Б.М. Герасимов, М.А. Левин, В.А. Корнейчук. – К.: МАКНС, 2007. – 335 с.
6. Кобець М.І. Використання сучасних інформаційних технологій в системах сільськогосподарського менеджменту [Електронний ресурс] / М.І. Кобець. – Режим доступу: http://undp.org.ua/agro/pub/ua/P2005_05_08_05.pdf.
7. Особливості ситуаційного управління змістом та часом виконання робіт у інтегрованих проектах аграрного виробництва / О.В. Сидорчук, А.М. Тригуба, Я.Й. Панюра, П.В. Шолудько // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 1/2 (43). – С. 46–48.
8. Панюра Я. Й. Ситуаційна програма централізованого збирання ранніх зернових культур / Я. Й. Панюра // Вісник Львів. держ. аграр. уні.: агроінженерні дослідження. – 2004. – № 8. – С. 57–61.
9. Россоха В.В. Технологічні трансформації в агропромисловому виробництві України: тенденції та результати [Електронний ресурс] / В.В. Россоха, Д.О. Соколов. – Режим доступу: <http://forbes.ua/ua/opinions/1390912-pro-majbutne-biometanu>.
10. Сидоров Ю. І. Сучасні біогазові технології / Biotechnologia acta, v. 6, no1, 2013 [Електронний ресурс] / Ю.І. Сидоров. – Режим доступу: http://biot_2013_6_1_6.pdf.
11. Фльонц І.В. Попередня обробка екструдованої соломи пшениці розчином Са(ОН)₂ з метою підвищення виходу біогазу / І.В. Фльонц, С.М. Підховна, Н.М. Голяш // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2014. – Вип. 194, ч. 1. – С. 236–242.
12. Эдер Б. Биогазовые установки. Практическое пособие [Електронний ресурс] / Б. Эдер, Х. Шульц. – Режим доступу: <http://www.zorg-biogas.com>.
13. CLAAS – эксперт биогаза. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.claas.ua/blueprint/servlet/blob/76286/24194e1a7b4ba98391b583db7173bc37/biomass-brochure-biogas-expertise-data.pdf>.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВЫРАЩИВАНИЯ, СБОРА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КУЛЬТУР В БИОМЕТАН

С.А. Шворов, Д.С. Комарчук, П.Г. Охрименко, Д.В. Чирченко

Предложена структура базы знаний интеллектуальной системы поддержки и принятия решений по организации выращивания, сбора и переработки биомассы в биометан. Рассмотрены основные задачи по оптимальному планированию засева, сбора и преобразования в биогаз энергетических культур и других органических отходов.

Ключевые слова: интеллектуальная система поддержки и принятия решений, органическое сырье, биогаз, энергетические культуры, биометан

INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ORGANIZATION GROWING, GATHERING AND TRANSFORMATION OF ENERGY CROPS IN BIOMETHANE

S. Shvorov, D. Komarchuk, P. Ohrimenko, D. Chyrchenko

The proposed structure of the knowledge base of intellectual support systems and decision-making on the organization of cultivation, harvesting and processing of biomass into biomethane, the basic task of optimal planning of sowing, harvesting and conversion into biogas energy crops and other organic waste.

Keywords: *intelligent system of support and decision-making, organic materials, biogas, energy crops, biomethane*

УДК 621.316.1

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ГРАФІВ ПРИ ВИРІШЕННІ ПИТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Г.Б. Іноземцев, доктор технічних наук

О.В. Гай, кандидат технічних наук

С.О. Діденко, студент

e-mail: gaalx@ukr.net

Проведено обґрунтування доцільності застосування теорії графів для вирішення питання енергозбереження в системі електропостачання. Наведено приклади та поставлено завдання подальших досліджень.

Ключові слова: *енергозбереження, система електропостачання, теорія графів*

Актуальність впровадження енергозберігаючих технологій в Україні обумовлена, у першу чергу, істотною залежністю економіки від імпорту паливно-енергетичних ресурсів. Це суттєво гальмує процес становлення України як економічно незалежної держави.

Нині більшість промислового обладнання й технологій, використовуваних в Україні, є застарілими і споживають більшу кількість енергії в порівнянні із сучасними аналогами. Це призводить до неефективного використання енергоресурсів. Україна задовольняє свої потреби в природних енергоресурсах за рахунок власного видобутку приблизно на 45 %. У більшості країн світу рівень енергетичної самозабезпеченості такий самий або навіть нижчий. При цьому Україна – одна із країн світу, де рівень енерговитрат надзвичайно високий. Її частка

INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ORGANIZATION GROWING, GATHERING AND TRANSFORMATION OF ENERGY CROPS IN BIOMETHANE

S. Shvorov, D. Komarchuk, P. Ohrimenko, D. Chyrchenko

The proposed structure of the knowledge base of intellectual support systems and decision-making on the organization of cultivation, harvesting and processing of biomass into biomethane, the basic task of optimal planning of sowing, harvesting and conversion into biogas energy crops and other organic waste.

Keywords: *intelligent system of support and decision-making, organic materials, biogas, energy crops, biomethane*

УДК 621.316.1

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ГРАФІВ ПРИ ВИРІШЕННІ ПИТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Г.Б. Іноземцев, доктор технічних наук

О.В. Гай, кандидат технічних наук

С.О. Діденко, студент

e-mail: gaalx@ukr.net

Проведено обґрунтування доцільності застосування теорії графів для вирішення питання енергозбереження в системі електропостачання. Наведено приклади та поставлено завдання подальших досліджень.

Ключові слова: *енергозбереження, система електропостачання, теорія графів*

Актуальність впровадження енергозберігаючих технологій в Україні обумовлена, у першу чергу, істотною залежністю економіки від імпорту паливно-енергетичних ресурсів. Це суттєво гальмує процес становлення України як економічно незалежної держави.

Нині більшість промислового обладнання й технологій, використовуваних в Україні, є застарілими і споживають більшу кількість енергії в порівнянні із сучасними аналогами. Це призводить до неефективного використання енергоресурсів. Україна задовольняє свої потреби в природних енергоресурсах за рахунок власного видобутку приблизно на 45 %. У більшості країн світу рівень енергетичної самозабезпеченості такий самий або навіть нижчий. При цьому Україна – одна із країн світу, де рівень енерговитрат надзвичайно високий. Її частка

у світовому споживанні енергії - 1,9 %, у той час як населення становить менш 1 % населення Землі. З погляду енергетики, неефективність виробництва викликано двома основними причинами: незбалансованою структурою енергоспоживання й нераціональним використанням енергії у всіх галузях економіки.

Мета досліджень – вирішення питання енергозбереження в електричній мережі, що буде здійснюватися оптимізацією структури електричної мережі в системі електропостачання, а саме – мінімізацією відстаней електричної мережі в системі електропостачання з використанням теорії графів.

Матеріали та методика досліджень. *Застосування теорії графів для оптимізації структури електричної мережі.* Наочно теорію графів можна уявити як геометричну конфігурацію, яка складається з точок (вершин), сполучених лініями (ребрами). У строгому визначенні графом називається сукупність двох множин – множини точок або вершин $v_1, v_2, \dots, v_n$ і безлічі ліній або ребер $e_1, e_2, \dots, e_m$, що з'єднують між собою всі або частину цих точок.

Визначення графа є настільки загальним, що цим терміном можна описувати безліч подій та об'єктів повсякденного життя. Можна сказати, що теорія графів є, по суті, мовою сучасної дискретної математики.

Розглянемо можливість використання теорії графів для вирішення питання оптимізації електричної мережі. На рис. 1 показана розрахункова схема мережі електропостачання. Пронумеровані вершини 1, 2, ..., 10 символізують собою місця споживання електричної енергії (споживачів), а вершина 11 є трансформаторною підстанцією. В табл. 1 наведено координати вершин і вказана споживана потужність кожної вершини, а в табл. 2 – довжини ребер. Загальна протяжність мережі становить 42,52 км.

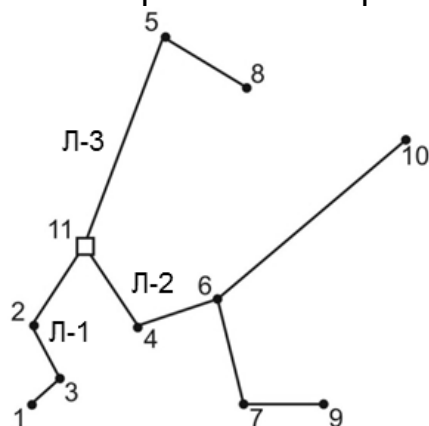


Рис. 1. Схема мережі електропостачання:

- – місця споживання електричної енергії (споживачі); □ – трансформаторна підстанція

Результати досліджень. Розв'яжемо задану схему електропостачання, щоб дізнатися скільки становлять втрати електричної енергії до її оптимізації.

Розрахувавши електричну мережу загальноприйнятим методом, отримали, що потужність підстанції становить 8093,676 кВА, при цьому

загальні втрати потужності $\Delta S = 681,810$ кВА, що складає 8,424 % від усієї споживаної потужності.

1. Координати споживачів (вершин) і їх потужність

Споживачі (вершини) v_i	Координати споживачів (вершин) x_i, y_i	Споживана потужність		
		P_i , кВт	Q_i , квар	S_i , кВА
1	2;2	750	464,80	882,35
2	2;5	1000	619,74	1176,47
3	3;3	500	309,88	588,24
4	6;5	250	154,94	294,12
5	7;16	630	390,45	741,18
6	9;6	700	433,82	823,53
7	10;2	800	495,80	941,18
8	10;14	1000	619,74	1176,47
9	13;2	430	266,49	505,88
10	16;12	500	309,88	588,24

2. Довжини ділянок (ребер) в електричній мережі

Ділянки (ребра) v_i, v_j	Довжина ділянок (ребер) d_{ij} , км	Ділянки (ребра) v_i, v_j	Довжина ділянок (ребер) d_{ij} , км
11; 2	3,61	11; 4	3,61
2; 3	2,24	4; 6	3,16
3; 1	1,41	6; 10	9,22
11; 5	8,54	6; 7	4,12
5; 8	3,61	7; 9	3,00

Розв'яжемо задану розрахункову схему електропостачання, що зображена на рис. 1 за допомогою теорії графів.

Розрахунок розпочнемо з побудови найкоротшої електричної мережі. Для побудови електричної мережі використаємо алгоритм Краскала. Він будує лінію найкоротшої протяжності, додаючи до неї по одній ділянці, при цьому відбувається знаходження відгалуження, яке з'єднує дві ділянки в схемі, утвореної зростаючими відгалуженнями найкоротшої мережі. Побудова починається із складання нової структури електричної мережі з n ділянок (кожна складається з одного споживача), а потім виконується операція об'єднання двох ділянок (найкоротших відгалужень), поки не залишиться єдина мережа – електрична мережа найкоротшої протяжності (рис. 2).

Довжини ребер побудованої мережі наведено в табл.3.

Після побудови розрахункової схеми електропостачання в єдину мережу з найменшою протяжністю ліній, приступимо до визначення розміщення трансформаторної підстанції.

Для кожної вершини $v_i \in V$ визначимо число:

$$c(v_i) = \sum_{v_j \in V} P_j d(v_i, v_j), \quad (1)$$

яке назвемо передавальним, і завдання про знаходження центра графа полягатиме в пошуку найменшого числа серед усіх передавальних чисел:

$$\min_{v_i \in V} c(v_i) = \min_{v_i \in V} \sum_{v_j \in V} P_j d(v_i, v_j). \quad (2)$$

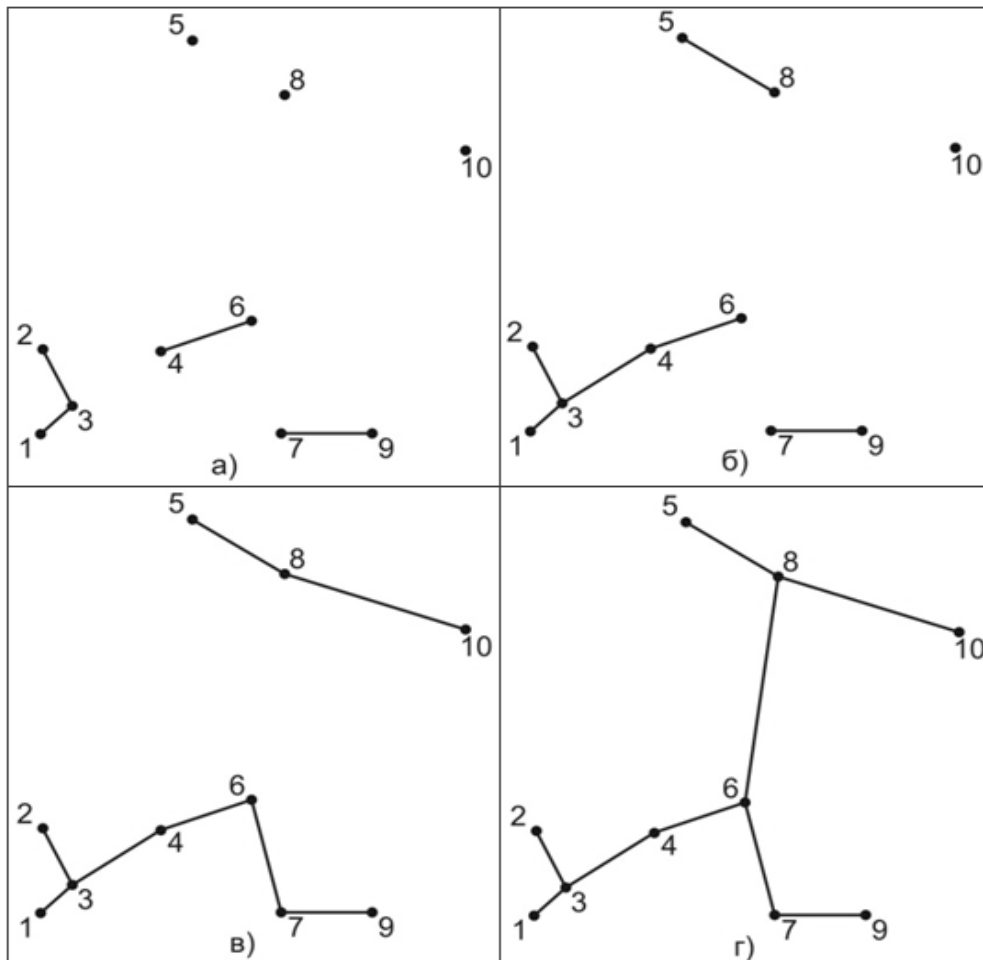


Рис.2. Результати зв'язування електроспоживачів

3. Довжини ділянок (ребер) найкоротшої електричної мережі

Ділянки (ребра) v_i, v_j	Довжина ділянок (ребер) d_{ij} , км
6; 4	3,16
4; 3	3,61
3; 1	1,41
3; 2	2,24
6; 8	8,06
8; 5	3,61
8; 10	6,32
6; 7	4,12
7; 9	3,00

Це і є мінісумне завдання щодо розміщення пункту обслуговування, який повинен бути на мінімальній відстані до всіх інших вершин графа.

Вершину v_u , в якій цей мінімум досягається, назовемо центром графа:

$$c(v_u) = \min_{v_i \in V} c(v_i) = \min_{v_i \in V} \sum_{v_j \in V} P_j d(v_i, v_j). \quad (3)$$

Для вершини v_6 передавальне число:

$$c(v_6) = 882,35(3,16+3,61+1,41)+1176,47(3,16+3,61+2,24)+588,24(3,16+3,61)+ \\ +294,12 \cdot 3,16+941,18 \cdot 4,12+505,88(4,12+3)+1176,47 \cdot 8,06+588,24(6,71+3,61)+ \\ +741,18(6,71+6,32) = 56799,76.$$

Для вершин v_4 , v_7 і v_8 , суміжних з вершиною v_6 , передавальні числа відповідно рівні: 62599,31; 76672,7; 78609,2.

Отже, ми маємо центральний граф з вершиною v_6 , оскільки в цій точці найменше значення із розглянутих.

Таким чином, підстанцію слід розмістити в межах місцевості споживання, зазначеної вершиною v_6 з координатами $x_6 = 9$, $y_6 = 6$ (рис. 3).

При цьому загальна протяжність мережі становить 35,53 км.

Маючи схему електропостачання і знаючи точку розміщення трансформаторної підстанції, приступимо до визначення втрат електричної енергії.

Для знаходження втрат активної $\Delta p(v_i, v_j)$ та реактивної $\Delta q(v_i, v_j)$ потужності, скористуємося формулами:

$$\Delta p(v_i, v_j) = \frac{p^2(v_i, v_j) + q^2(v_i, v_j)}{u^2} r d(v_i, v_j); \quad (4)$$

$$\Delta q(v_i, v_j) = \frac{p^2(v_i, v_j) + q^2(v_i, v_j)}{u^2} x d(v_i, v_j),$$

де $p(v_i, v_j)$ і $q(v_i, v_j)$ – активний і реактивний потік потужності на дузі; u – напруга мережі (10 кВ); r і x – активний і реактивний опір (було прийнято рівним 0,244 Ом/км і 0,4 Ом/км, відповідно); d – довжина ділянки (v_i, v_j) , км.

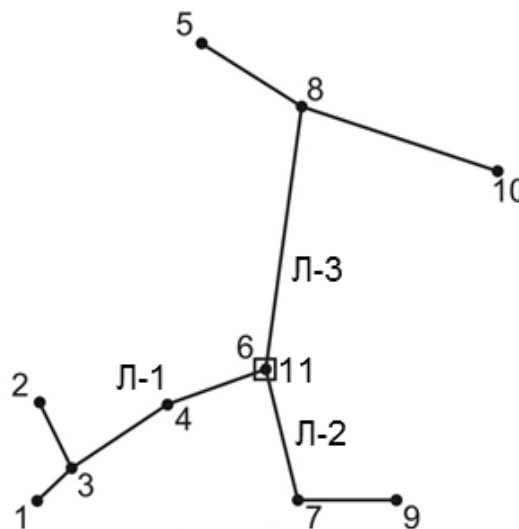


Рис. 3. Розміщення трансформаторної підстанції в центрі графа

Користуючись формулою (4), отримаємо такі результати.

Розрахунок першої лінії (Л-1):

$\Delta p_{(3,1)} = 2,678$ кВт; $j\Delta q_{(3,1)} = j4,391$ квар; $\Delta p_{(3,2)} = 7,565$ кВт; $j\Delta q_{(3,2)} = j12,401$ квар; $s_{\text{діл.4-3}} = s_1 + s_2 + s_3 + \Delta p_{(3,1)} + j\Delta q_{(3,1)} + \Delta p_{(3,2)} + j\Delta q_{(3,2)} = 2657,303 + j16,792$ кВА; $\Delta p_{(4,3)} = 62,201$ кВт; $j\Delta q_{(4,3)} = j101,969$ квар; $s_{\text{діл.11-4}} = \Delta s_{\text{діл.4-3}} + s_4 + \Delta p_{(4,3)} + j\Delta q_{(4,3)} = 3013,624 + j118,761$ кВА; $\Delta p_{(11,4)} = 70,134$ кВт; $j\Delta q_{(11,4)} = j114,974$ квар; $s_{11(1)} = \Delta s_{\text{діл.11-4}} + \Delta p_{(11,4)} + j\Delta q_{(11,4)} = 3083,758 + j233,735$ кВА.

Розрахунок другої лінії (Л-2):

$\Delta p_{(7,9)} = 1,873$ кВт; $j\Delta q_{(7,9)} = j3,071$ квар; $s_{\text{діл.11-7}} = s_7 + s_9 + \Delta p_{(7,9)} + j\Delta q_{(7,9)} = 1448,933 + j3,071$ кВА; $\Delta p_{(11,7)} = 21,105$ кВт; $j\Delta q_{(11,7)} = j34,598$ квар; $s_{11(2)} = \Delta s_{\text{діл.11-7}} + \Delta p_{(11,7)} + j\Delta q_{(11,7)} = 1470,038 + j37,669$ кВА.

Розрахунок третьої лінії (Л-3):

$\Delta p_{(8,5)} = 4,839$ кВт; $j\Delta q_{(8,5)} = j7,933$ квар; $\Delta p_{(8,10)} = 5,336$ кВт; $j\Delta q_{(8,10)} = j8,748$ квар; $s_{\text{діл.11-8}} = s_5 + s_8 + s_{10} + \Delta p_{(8,5)} + j\Delta q_{(8,5)} + \Delta p_{(8,10)} + j\Delta q_{(8,10)} = 2516,065 + j16,680$ кВА; $\Delta p_{(11,8)} = 124,505$ кВт; $j\Delta q_{(11,8)} = j204,107$ квар; $s_{11(3)} = \Delta s_{\text{діл.11-8}} + \Delta p_{(11,8)} + j\Delta q_{(11,8)} = 2640,570 + j220,79$ кВА.

У такому випадку потужність підстанції становитиме 8032,990 кВА, при цьому загальні втрати потужності $-\Delta s = 576,537$ кВА, що складає 7,177 % від усієї споживаної потужності. Проведемо порівняння розрахунків, які наведено в табл. 4.

4. Порівняння розрахунків втрат потужності в електричній мережі

Втрати потужності ΔS , кВА (ΔS , %)		
До оптимізації	Після оптимізації	Різниця
681,810 (8,424)	576,537 (7,177)	105,273 (1,247)

Висновки

Для вирішення питання щодо енергозбереження було застосовано теорію графів для раціоналізації структури системи електропостачання при незмінному складі, місця розташування і величин встановленої потужності споживачів. Базуючись на теоретико-практичному пошуку найкоротших остовів графа з метою зменшення електроенергетичних втрат в електричній системі, було скорочено довжину ліній електропередачі на 6,99 км, тобто на 16,44 %. При цьому, втрати потужності в системі зменшилися на 105,273 кВА (на 15,44 %), що обумовило збільшення енергозбереження системи.

Список літератури

1. Асанов М.О. Дискретная математика: графы, матроиды, алгоритмы / Асанов М.О., Баранский В.А., Расин В.В. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001 – 288 с.
2. Гладких О.Б. Основные понятия теории графов: учеб. пособие / О.Б. Гладких, О. Н. Белых. – Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2008. – 175 с.
3. Гнучий Ю.Б. Применение теории графов для расчетов систем электроснабжения. Краткий остов графа. Сеть с наименьшей протяженностью линий электропередачи / В.В. Козырский, Ю.Б. Гнучий, А.В. Гай // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2013. – Вип. 184, ч. 1 – С. 11–19.

4. Лыкин А. В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электрических сетях: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 115 с.

5. Гай О.В. Підхід із визначення показників надійності системи електропостачання з використанням методу імітаційного моделювання / О.В. Гай, С.В. Стахнюк // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2014. – Вип. 194, ч.3. – С. 249–258.

6. Козирський В.В. Методи та моделі розрахунку надійності систем електропостачання: монографія / В.В. Козирський, О.В. Гай. – К.: Гнозис, 2013. – 563 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ПРИ РЕШЕНИИ ВОПРОСА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Г.Б. Иноземцев, А.В. Гай, С.А. Диденко

Проведено обоснование целесообразности применения теории графов для решения вопроса энергосбережения в системе электро-снабжения. Приведены примеры и поставлена задача дальнейших исследований.

Ключевые слова: энергосбережение, система электро-снабжения, теория графов

APPLICATION OF GRAPH THEORY IN QUESTION ENERGY SAVING SOLUTIONS

G. Inozemtsev, A. Gai, S. Didenko

A rationale for the use of graph theory in addressing the issue of energy saving in the power supply system. Examples task and further research.

Keywords: energy saving, system power, graph theory

УДК 631.563

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТОДИОДОВ В СВЕТОКУЛЬТУРЕ ТЕПЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ

***Л.С. Червинский, доктор технических наук
Л.А. Сторожук, кандидат исторических наук
Я.М Луцак, аспирант*
e-mail: lchervinsky@gmail.com***

Приведены обобщенные результаты по режимам и спектральному составу оптического излучения для различных тепличных растений.

* Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Л.С. Червинский

© Л.С. Червинский, Л.А. Сторожук, Я.М Луцак, 2015

4. Лыкин А. В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электрических сетях: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 115 с.

5. Гай О.В. Підхід із визначення показників надійності системи електропостачання з використанням методу імітаційного моделювання / О.В. Гай, С.В. Стахнюк // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2014. – Вип. 194, ч.3. – С. 249–258.

6. Козирський В.В. Методи та моделі розрахунку надійності систем електропостачання: монографія / В.В. Козирський, О.В. Гай. – К.: Гнозис, 2013. – 563 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ПРИ РЕШЕНИИ ВОПРОСА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Г.Б. Иноземцев, А.В. Гай, С.А. Диденко

Проведено обоснование целесообразности применения теории графов для решения вопроса энергосбережения в системе электро-снабжения. Приведены примеры и поставлена задача дальнейших исследований.

Ключевые слова: энергосбережение, система электро-снабжения, теория графов

APPLICATION OF GRAPH THEORY IN QUESTION ENERGY SAVING SOLUTIONS

G. Inozemtsev, A. Gai, S. Didenko

A rationale for the use of graph theory in addressing the issue of energy saving in the power supply system. Examples task and further research.

Keywords: energy saving, system power, graph theory

УДК 631.563

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТОДИОДОВ В СВЕТОКУЛЬТУРЕ ТЕПЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ

***Л.С. Червинский, доктор технических наук
Л.А. Сторожук, кандидат исторических наук
Я.М Луцак, аспирант*
e-mail: lchervinsky@gmail.com***

Приведены обобщенные результаты по режимам и спектральному составу оптического излучения для различных тепличных растений.

* Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Л.С. Червинский

© Л.С. Червинский, Л.А. Сторожук, Я.М Луцак, 2015

Обоснована целесообразность применения светодиодных светильников в качестве эффективных источников облучения растений.

Ключевые слова: облучение растений, режимы и спектральный состав, светодиодные облучатели

В условиях светокультуры энергия оптического излучения наряду с корневым питанием, наличием углекислого газа, влажностью и температурой воздуха является важнейшим фактором, оказывающим влияние на рост и развитие растений. Можно выделить наиболее важные четыре основные характеристики излучения: спектральный состав, интенсивность облучения, продолжительность суточного облучения (фотопериод) и пространственное распределение светового потока излучения. Эти характеристики обуславливают выбор источников оптического излучения.

Цель исследований – определение эффективности применения современных светодиодных светильников для освещения растений в современных системах автоматизированного освещения.

Материалы и методика исследований. Согласно Международной комиссии по освещению (CIE), исходя из спектра, всю солнечную энергию можно подразделить на три основные части: ультрафиолетовые лучи (10–400 нм); видимое излучение (400–760 нм); инфракрасное излучение (более 760 нм). Фотосинтез происходит в видимой области света.

Фитофотометрическая оценка излучения (ФАР) основана на энергетической или эффективной системе величин, оценивающей излучение с помощью селективной функции фотосинтезной эффективности. Последняя обладает рядом преимуществ, свойственных системам эффективных величин, однако ее практическую ценность для светокультуры существенно снижает отсутствие в ряде случаев прямой корреляции между интенсивностью фотосинтеза и продуктивностью растений.

Энергетическая система оценки излучения (PPF) приписывает равнозначное действие излучению любого спектрального диапазона в пределах спектральной области ФАР от 380 до 710 нм. Поскольку, молекулы хлорофилла активизируются фотонами, а не энергией, введено такое понятие как PPF (Photosynthetic Photon Flux – струя (поток) фотонов фотосинтеза), который измеряется в микромолях фотонов в секунду, а отношение PPF к потребляемой мощности рассматривается как коэффициент эффективности источника излучения для растений.

Растения, выращиваемые в условиях светокультуры, можно условно разделить на три группы:

- 1) растения, погибающие при длительном воздействии красного света (например, огурец), в связи с чем необходимо ограничение доли красных лучей;
- 2) растения, активно растущие и плодоносящие в красных лучах (например, томат);
- 3) растения, наиболее активно растущие при облучении их белым светом.

В результате многолетних исследований учеными разных стран [2] было установлено, что все растения можно разделить на две основные группы: светлюбивые и сумраколюбивые. Наиболее благоприятными для выращивания светлюбивых растений являются интенсивности света в пределах 150–350 Вт/м², а оптимальный состав излучения имеет следующее соотношение энергий по спектру: 30 % – в синей области (380–490 нм), 20% – в зелёной (490–590 нм) и 50 % – в красной области (600–700 нм). С использованием такого искусственного освещения получены урожаи, в несколько раз более высокие, чем при обычном освещении, причём за более короткие (в 1,5–2 раза) сроки [2,4].

В табл.1 приведены обобщенные результаты по определению предпочтительных уровней облучения при интенсивной светокультуре различных сельскохозяйственных культур, а также соотношения различных частей оптического спектра.

1. Рекомендуемые режимы облучения при интенсивной светокультуре

Культура	Облученность*, ЕФАР, Вт/м2	Относительное распределение ОИ по спектру – синий/зеленый/красный
Томаты	100-160	0,2/0,2/0,6
Огурцы	80-120	0,2/0,4/0,4
Рис	280-300	0,33/0,33/0,33
Корнеплоды	160-180	-

* В УФ-области спектра (300-400 нм) целесообразно иметь облученность не более 4 % ФАР, в ИК-области: при 0,7–1,2 мкм не более 100–120 % ФАР; при 1,2–3 мкм менее 25 % ФАР; при 3-40 мкм менее 25 % ФАР.

Немаловажным есть процесс регулирования продолжительности светового дня. Регулирование продолжительности светового дня (фотопериодизм) особенно большую роль играет в цветоводстве.

В табл. 2 приведены некоторые сведения по регулированию световых режимов в помещениях для выращивания ряда цветочных культур.

2. Световые режимы облучения различных видов цветочных культур

Культура	Облучен- ность, мВт/м2 (ФАР)	Годовой период облучения	Продолжительность облучения в сутки, ч	Примечание
Астры	23000	По требованию	Непрерывно в течение 3 сут.	Подготовка саженцев в теплицах
Тюльпаны	3000–5000	Декабрь- февраль	12 (без естествен- ного освещения)	Выгонка цветов
Хризан-	900	Зимой	Удлинение	Круглогодичная

темы			светового дня до 16 ч	культура (для предотвращения почкования зимой)
Орхидеи	9000	Сентябрь-апрель	Удлинение светового дня до 16 ч	Наиболее интенсивный рост, лучшая выживаемость, непрерывное цветение
Георгины	4000	Зимой	2 (ночной перерыв)	Ускорение цветения на 4-8 недель
Гвоздики	1300 3500	Август-апрель Октябрь-февраль	6-12 (ночью) Удлинение светового дня до 10 ч	Увеличение времени цветения Улучшение вегетативного роста
Гортензии	1500–2400	С декабря и далее	Удлинение светового дня на 5–8 ч	Более темная листва и красивее цветы
Лилии	7500	С ноября и далее	Постоянно в течение 7 сут.	Увеличение времени цветения
Флоксы	23000	По требованию	Постоянно в течение 7 сут.	Подготовка в теплицах
Розы	20000–30000 6500–10000	Октябрь-март Август-май	18–24 ч в зависимости от облученности Непрерывно	Увеличение интенсивности и времени цветения Облучение осуществляется ЛЛ, вертикально расположенными между розами

В настоящее время для облучения растений наиболее широко используются адаптированные для растениеводства натриевые лампы высокого давления.

Однако современные светодиодные фитолампы способны обеспечить большее соответствие спектра лампы спектру фотосинтеза, поскольку монохроматические цветные светодиоды излучают свет в узкой области спектра, не расходуя энергию на малоэффективные для фотосинтеза области. Современные светодиодные лампы покрывают весь видимый диапазон оптического спектра: от красного до фиолетового цвета. Диапазон длин волн излучения светодиодов в красной области спектра составляет от 620 до 635 нм, в оранжевой – от 610 до 620 нм, в

жёлтой – от 585 до 595 нм, в зелёной – от 520 до 535 нм, в голубой – от 465 до 475 нм и в синей – от 450 до 465 нм.

Результаты исследований. Таким образом, составляя комбинации из светодиодов разных цветовых групп, можно получить источник света с практически любым спектральным составом в видимом диапазоне. Поэтому использование в фитолампе комбинации синих и красных светодиодов позволяет эффективно использовать энергию только на полезный для растений свет.

Следует отметить и другие преимущества светодиодов, например малую потребляемую электрическую мощность и, как следствие, низкое потребление электроэнергии устройствами на основе светодиодов. Кроме того, стоит учитывать, что излучение светодиодов направленное, а это позволяет эффективнее использовать источники света на их основе. Также надо принимать во внимание, что срок службы светодиодов превышает срок службы ламп минимум в несколько раз, что делает применение светодиодов также эффективным и в экономическом плане.

На рис.1 приведены спектры излучения отдельно синего, зеленого и красного светодиодов.

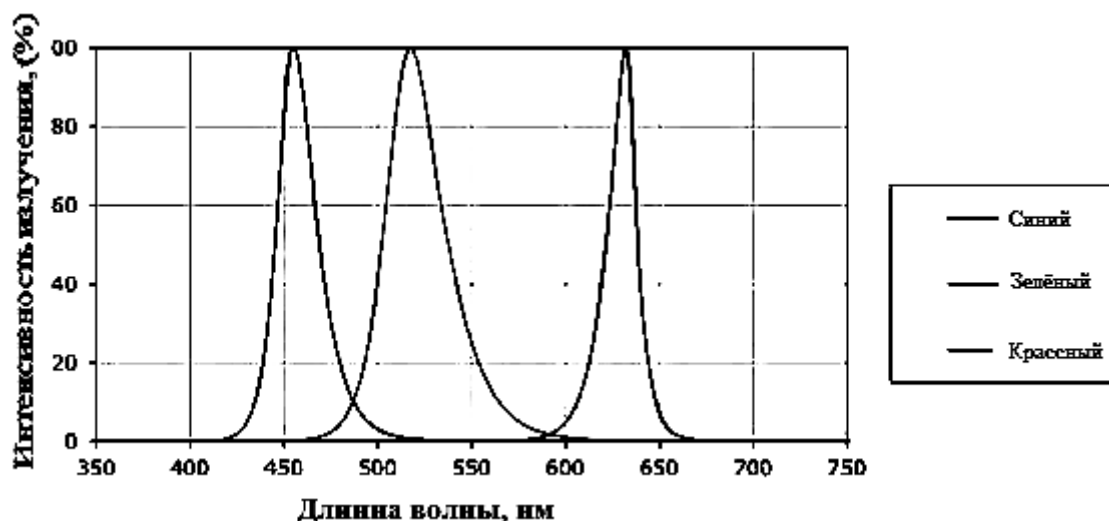


Рис. 1. Спектры излучения монохроматических светодиодов

Спектр излучения белых светодиодов представляет собой комбинацию синего, красного и зеленого цветов, а распределение мощности излучения неравномерно по всей длине спектра. Интенсивность излучения светодиода зависит от величины подведенного напряжения (протекающего через кристалл тока). Это позволяет управлять интенсивностью излучения светодиодного светильника, причём относительно легко – путём изменения значения тока. Если использовать в светильнике светодиоды с разными значениями длины волны излучения, то, изменяя ток для разных светодиодов, можно получать различные по составу и интенсивности спектры излучения и таким образом подбирать спектр светильника в зависимости от конкретного этапа развития растения.

В излучении диодов теплого белого цвета (2600–3500 К) преобладает излучение красного цвета (500–700 нм), а в излучении диодов холодного белого света (5000–8300 К) преобладает излучение синего цвета (400–500 нм). Комбинация в светильнике диодов обоих типов позволяет получить наиболее полезный для растений свет и эффективный расход энергии. Спектры излучения стандартной светодиодной агролампы показано на рис. 2.[1]

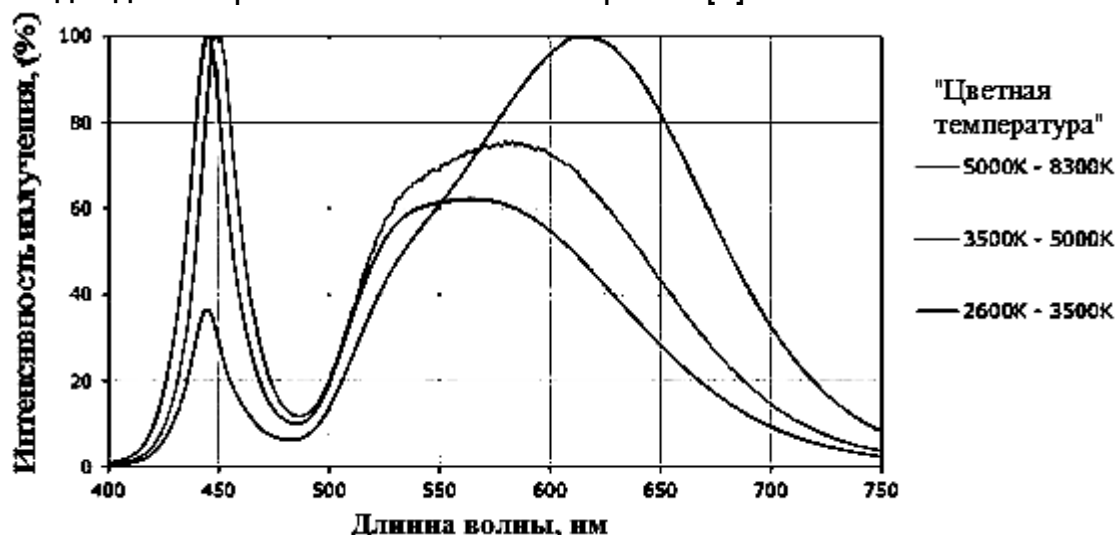


Рис.2. Изменение спектра излучения светодиодной лампы от температуры (напряжения на лампе)

Выводы

1. Приведённые результаты указывают на эффективность применения современных светодиодных светильников для освещения растений.
2. Современные теплицы представляют собой сложные технические комплексы, в большей части роботизированные, управление которыми осуществляется при помощи автоматизированных систем. Поэтому в них достаточно органично можно добавить и управление освещением, причём как по интенсивности, так и по спектральному составу излучения. Производить такие управляющие операции необходимо по программам, учитывающим фазу развития растений. Для этого наиболее подходят светодиодные источники.
3. Светодиоды, в отличие от ламп, не являются хрупкими, поэтому устройства на их основе могут быть антивандальными, а возможность низковольтного питания делает их безопасными, то есть не являющимися потенциальными источниками возникновения пожара или взрыва.

Список литературы

1. Большина Н.П. Новые источники облучения в растениеводстве / Н.П. Большина //Сб. науч. тр. МИИСП «Пути повышения качества электрификации с.-х. производства и его электроснабжения». – М.:МИИСП, 1981. – С. 34–36.

2. Леман В.М. Курс светокультуры растений / В.М. Леман. – [2-е изд.]. – М.: Высш. шк., 1976. – 271 с.

3. Сторожук Л.О. К вопросу воздействия ультрафиолетового облучения на рост и физиологические параметры растений/ Л.О. Сторожук, Л.С. Червинский.// Праці Таврійського держ. агротехнологічного ун-ту. – Мелітополь, 2013. – Вип.13, Т.4 – С. 210 – 213.

4. Тихомиров А.А. Светокультура растений. / А.А. Тихомиров, В.П. Шарупич, Г.М. Лисовский. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 321 с.

ВИКОРИСТАННЯ СВІТЛОДІОДІВ У СВІТЛОКУЛЬТУРІ ТЕПЛИЧНИХ РОСЛИН

Л.С. Червінський, Л.О. Сторожук, Я.М. Луцак

Наведено узагальнені результати щодо режимів і спектрального складу оптичного випромінювання для різних тепличних рослин. Обґрунтовано доцільність застосування світлодіодних світильників як ефективних джерел опромінення рослин.

Ключові слова: опромінення рослин, режими та спектральний склад, світлодіодні опромінювачі

USING LEDS FOR THE LIGTKULTURE PLANTS

L. Chervinsky, L. Storozhuk, J. Lutsak

Induced generalized results by mode and spectral composition of optical radiation for different greenhouse plants. Justified application of LED lamps as efficient sources of irradiation plants.

Keywords: irradiation plant, profiles and spectral composition, LED irradiato

UDC 621.365

MAGNETIC PULSE METHOD SUPPLYING ENERGY FOR MOVE THE PISTON INTO ENGINE

***V. Kontsur, D. Komarchuk, candidate of technical science
e-mail: dmitrui@mail.ru***

The method of magnetically-impulse transmission of energy offers through an inductor to the flat plate, that allows to distinguish considerable instantaneous power with further transformation it in mechanical energy.

2. Леман В.М. Курс светокультуры растений / В.М. Леман. – [2-е изд.]. – М.: Высш. шк., 1976. – 271 с.

3. Сторожук Л.О. К вопросу воздействия ультрафиолетового облучения на рост и физиологические параметры растений/ Л.О. Сторожук, Л.С. Червинский.// Праці Таврійського держ. агротехнологічного ун-ту. – Мелітополь, 2013. – Вип.13, Т.4 – С. 210 – 213.

4. Тихомиров А.А. Светокультура растений. / А.А. Тихомиров, В.П. Шарупич, Г.М. Лисовский. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 321 с.

ВИКОРИСТАННЯ СВІТЛОДІОДІВ У СВІТЛОКУЛЬТУРІ ТЕПЛИЧНИХ РОСЛИН

Л.С. Червінський, Л.О. Сторожук, Я.М. Луцак

Наведено узагальнені результати щодо режимів і спектрального складу оптичного випромінювання для різних тепличних рослин. Обґрунтовано доцільність застосування світлодіодних світильників як ефективних джерел опромінення рослин.

Ключові слова: опромінення рослин, режими та спектральний склад, світлодіодні опромінювачі

USING LEDS FOR THE LIGTKULTURE PLANTS

L. Chervinsky, L. Storozhuk, J. Lutsak

Induced generalized results by mode and spectral composition of optical radiation for different greenhouse plants. Justified application of LED lamps as efficient sources of irradiation plants.

Keywords: irradiation plant, profiles and spectral composition, LED irradiato

UDC 621.365

MAGNETIC PULSE METHOD SUPPLYING ENERGY FOR MOVE THE PISTON INTO ENGINE

***V. Kontsur, D. Komarchuk, candidate of technical science
e-mail: dmitrui@mail.ru***

The method of magnetically-impulse transmission of energy offers through an inductor to the flat plate, that allows to distinguish considerable instantaneous power with further transformation it in mechanical energy.

Keywords: *magnetic pulse method, piston engine, energy storage, electric field, electromagnetic force, energy efficiency*

Constantly growing requirements to ecological safety, environment related to contamination by the toxins of machines and mechanisms, oil-fired and combustible gases, and also appeals to the every kind of economy of traditional types of energy dictate a requirement in creations and introduction of the fundamentally new technical decisions based on the receipt of economical and ecologically clean energy sources.

Objective research. This idea can provide a piston engine with the improved indexes of during exploitation, where not use the traditional types of fuel.

Materials and methods of research. An electrophysics method is based up in principle of action of such engine, namely, magnetically-impulse, related to the class of treatment materials of pressure. For technological to the parameters this method is near to the electro-explosion.

Modern work of reciprocator is provided due to force, defiant motion of piston and created due to electromagnetic effects directly in the piston executed from conductive material. Thus no intermediate working environments of transmission of the mechanical affecting piston are not required [3].

The simplified chart over of the magnetically-impulsive method fixed in basis of engine is brought on fig. 1.

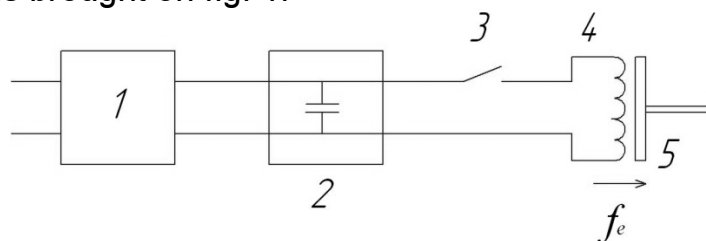


Fig. 1. Simplified chart of magnetically-impulsive supply of energy

From a source of the electric energy 1, the capacitor 2 is charging, in the electric field of that energy accumulates:

$$E_{\text{н}} = \frac{CU_c^2}{2}. \quad (1)$$

By means of switch 3 the charged store of energy is connected to puttee 4, intended for creation of magnetic-field of certain spatial configuration.

The store of energy during short time runs down on a puttee, causative agent, here maximal strength of discharge current of I arrives at hundred and thousand ampere. In the vicinity of causative agent, where a piston is shut-down 5, the quickly changing magnetic field that results in the origin of electromagnetic force is created F_e . This force causes motion of piston along directing. Thus, energy of electric-field of capacitor banks will be transformed in energy of magnetic-field of causative agent, and then in work of motion of piston and partly in a warmth.

As actually the process of influence flows very quickly, then his time on the whole is determined by duration of charging of store of energy [1, 5].

First setting for the receipt of the brief power magnetic fields created in 20th of Acad. PL Kapitsa. On this setting it was succeeded to attain tension of magnetic-field $H = 10^7 \text{ A/m}$. At the end of 50th and beginning of 60th research options were built, creating the beyond measure strong magnetic fields with tension $H = 10^9 \text{ A/m}$.

The row of devices of the industrial setting, in that the strong magnetic fields are used for technological aims, is afterwards worked out, in particular, for the operations of magnetically-impulsive formation [1].

The row of dignities is magnetically inherent an impulsive method:

- simplicity of equipment;
- absence intermediate working among, transmitter the mechanical affecting object;
- absence of requirement of sealing in of working space et al.

Research results. We will consider physics of process of magnetically-impulsive method on the example of cooperation of electro-impulsive magnetic-field and flat plate. Magnetically-impulsive influence [2] chinks to come true by two methods:

- induction at influence of impulsive magnetic-field that is created by a causative agent with a current, pointed in a flat plate by the field. At it a plate is not plugged in an electric chain;
- electrodynamic at cooperation of currents in a causative agent and flat plate plugged in the chain of discharge of capacitor banks.

An electrodynamic method is based on electromechanics cooperation of conductors where is current flows. This method has a row of substantial defects and can not be stopped up in principle of construction of the offered piston engine.

Most acceptable for us use the induction method.

Near-by the puttee of causative agent (inductor) a flat plate that under the action of electromagnetic forces is set $\vec{F}_e$ removed from a causative agent on some distance. The energy density of the magnetic field is:

$$P_{em} = 0,5 \vec{B} \vec{H}, \quad (2)$$

where $\vec{B}$ - magnetic induction; $\vec{H}$ - tension of magnetic field.

For air (environment where a process passes usually) :

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}, \quad (3)$$

where $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ - magnetic permanent, Gn/m .

At the beginning of discharge of store of energy (during ten of microseconds) near-by the puttee of causative agent on the internal side of flat plate tension of magnetic-field $\vec{H}_1$ great, and on external is tension $\vec{H}_2$ small.

In the single volume of space of inside of flat plate the density of magnetic energy is equal:

$$0,5 \vec{H}_1 \vec{B}_1 = 0,5 \mu_0 \vec{H}_1^2. \quad (4)$$

On external part equal:

$$0,5\vec{H}_2\vec{B}_2 = 0,5\mu_0\vec{H}_2^2, \quad (5)$$

where $\vec{B}_1$ and $\vec{B}_2$ – values of magnetic induction accordingly on internal and external parties of flat plate.

Dimension of the energy density ($L^{-1}MT^{-2}$) the same, as pressures. Therefore for both sides the flat plastic arts different magnetic pressures correspond the densities of energy $\vec{P}_{m1}$, $\vec{P}_{m2}$. Density f_e electromagnetic forces on the area of flat plate presents the difference of magnetic pressures $\vec{P}_{m1} - \vec{P}_{m2}$ with internal and external parties. These magnetic pressures are perpendicular to the vector $\vec{B}$ numeral equal to the local density of magnetic energy:

$$\vec{P}_{m1} = 0,5\mu_0\vec{H}_1^2. \quad (6)$$

$$\vec{P}_{m2} = 0,5\mu_0\vec{H}_2^2. \quad (7)$$

Then the superficial density of electromagnetic forces will be equal:

$$f_e = \vec{P}_{m1} - \vec{P}_{m2} = 0,5\mu_0(\vec{H}_1^2 - \vec{H}_2^2). \quad (8)$$

Vector f_e directed in a that side where the magnetic field is weaker, in this case on the inside of flat plate in outside. That a magnetically-impulsive action happened, it is necessary, that tension of magnetic-field on both parties of flat plate substantially differed from each other. Tension H_2 magnetic-field into a flat plate relaxes due to a current I_n , current pointed by the changing magnetic field I in a conductive plate plate. By rule of Lenz the current has such direction, as magnetic field that is created by agent into a contour, where the current is. A plate, and more precisely chain of the current, possesses the certain inertance characterized in the simplest cases permanent to time τ_n . The more τ_n as compared to duration of flowing of discharge current, the the electromagnetic inertance of conductive flat plate is stronger expressed and the weaker at the beginning of discharge the magnetic field, being characterized sizes $\vec{B}_2$ and $\vec{H}_2$ on her exteriority. To execute the indicated condition, time of discharge of capacitor banks, i.e. time of growth of magnetic field, it must be as few as possible. At a magnetically-impulsive action a flat plate is heated by the given current. Losses depend on heating, in particular, from speed of change of magnetic-field can make a to 20 % energy accumulated by a capacitor banks.

It should be noted that during a discharge on causative agent, mechanical forces, by value equal to the effort attached to the flat plate, operate according to the third Newton's law. In addition, there are efforts because of cooperation of currents in a causative agent. Therefore the construction of causative agent must beat very hard and durable, that will be one of major tasks at constructing of engine [2].

For description of electric processes what be going on at a magnetically-impulsive effect, a discharge chain can be presented by the chart of substitution totality of the idealized elements such, as inductive and capacity [5, 4]. A chart is presented on a fig. 2.

Value of equivalent inductance of discharge chain L_{ek} determined by the magnetic stream of dispersion, that is not used for influence. This inductance depends on configuration of causative agent, long leads, and also from electromagnetic properties of flat plate, who is the center of the causative agent. At affecting flat plate and her moving away from a causative agent equivalent inductance L_{ek} some changes, however this change it is possible to ignore due to small value of equivalent inductance. Equivalent resistance, R_{ek} that reflects all irreversible losses in a discharge chain: electric heating of elements, work after affecting plate etc. Exactly equivalent resistance usually is not can be succeeded calculating, therefore use approximately value.

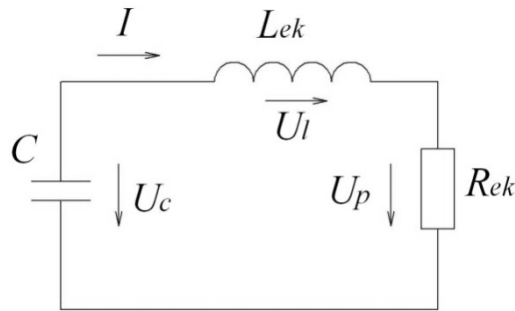


Fig. 2. Chart of substitution

For the optimal indexes of process by the parameter of discharge chain C, R_{ek}, L_{ek} choose such, that current it was periodically attenuation, and speed of his change at the beginning of discharge of condenser small.

$R_{ek} = \sqrt{L_{ek}/C}$ the period of eigentones of discharge current is determined:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (9)$$

Peak current $I_{\max}$ at the end of the first fourth of period $\tau = 0.25T$ set by correlation:

$$I_{\max} = 0.5U_{xp} \sqrt{\frac{C}{L_{ek}}}. \quad (10)$$

If a flat plate is executed from ferromagnetic, then inductance L_{ek} increases, and frequency diminishes accordingly. According to expression (10), for the increase of electromagnetic force $\vec{F}_e$ it is necessary to promote tension of magnetic-field $\vec{H}_1$ on the internal side of plate (fig. 2). It takes place at large forces of discharge current and high-rate of his change. Electromagnetic forces are especially great in the first fourth of period of discharge. If to consider that strength of current I at the beginning of discharge increases on a linear law, then concordantly (9) and (10) speed of growth of current in the first fourth of period:

$$\frac{\partial I}{\partial \tau} = I_{\max} \cdot 0.25T = 0.3 \frac{U_c}{L_{ek}} \quad (11)$$

From where:

$$I = \left(0,3 \frac{U_c}{L_{ek}} \right) \tau. \quad (12)$$

According to the law of complete current for a contour tension of magnetic-field on the internal side of plate:

$$H_1 = k_1 NI, \quad (13)$$

where k_1 – permanent; N – number of coils of causative agent; I – strength of current.

In accordance with expression (12) at the beginning of discharge the field tension $\vec{H}_1$ grows on a linear law.

Tension of magnetic-field $\vec{H}_2$ into a plane changes considerably weaker. And according to the law of complete current, for a contour L_2 field tension $\vec{H}_2$ determined by strength of the discharge current I_n in the puttee of causative agent, so the current pointed by force I_n in a plate. By rule of Lenz the given current prevents changes of the field into a plate, therefore:

$$H_2 = k_2 NI - k_2 I_n, \quad (14)$$

where k_2 – permanent.

In obedience to expression (14), at the beginning of discharge on exteriority of plate tension of magnetic-field increases gradually H_2 ("magnetic pillow"), electromagnetic force F_e falls.

It takes place the later, than anymore permanent to time τ_n . One of necessary terms of magnetically-impulsive interaction is inequality:

$$\tau_n > 0.5T. \quad (15)$$

If this condition is executable, then the height of strength of the given current does not have time after the change of discharge current I . Tension of magnetic-field on exteriority of plate $H_2 \approx 0$ a magnetic pillow is absent. If permanent to time of chain of the given current small, then tension for both sides the plate fast becomes same level, and density f_e and superficial forces falls. A Magnetically-impulsive action will be not effective. Indexes of cooperation of causative agent and plate will be the best, when the radius of plate approaches the radius of puttee of causative agent and a gap between a plate and puttee is minimal. Inductance of discharge chain is minimal.

If inequality (15) is executed, it is possible to consider that $H_2 \approx 0$ and then taking into account expressions (8) and (13) density of electromagnetic forces:

$$f_e = 0.5\mu_0 (k_1 N)^2 I^2. \quad (16)$$

According to correlation (12) and (16), density grows with the increase of initial tension U_c capacitor banks, number of coils N and inductances. At the beginning of discharge the density of electromagnetic forces is equal to the zero (fig. 3)

Taking into account expression (12), density of electromagnetic forces is:

$$f_{e\max} = 0.12\mu_0 (k_1 N)^2 I^2 U_c^2 \frac{C}{L_{ek}}. \quad (17)$$

For the increase of electromagnetic forces needed, puttee of causative agent with the large number of coils N , but by small inductance, and initial tension U_c and capacity of discharge chain must be high. Size $f_{e\max}$ determined by the density of energy in an object, i.e. relation of the energy accumulated in condensers, to the volume of working space into a causative agent.

During the first semiperiod (fig. 3) considerable part of the energy accumulated by a capacitor banks is distinguished. In the second semiperiod direction of the magnetic fields changes for both sides a flat plate, but direction of electromagnetic force is saved.

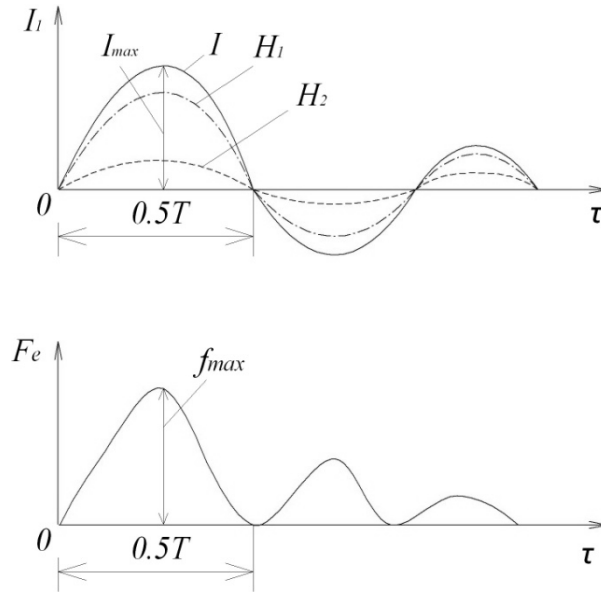


Fig. 3.

It is necessary to find out for the calculation character action of forces, how the density of electromagnetic forces is up-diffused on the thickness of plate. At the change of magnetic induction in the superficial layer of plate arises up E.M.F., defiant the given current a density I_n , directed so that to detain the change of magnetic induction in a plate of electromagnetic forces $\vec{f}_{ev} = \vec{I}_n \vec{B}$

Induction $\vec{B}_1$ magnetic-field into a plate in a superficial layer becomes equal $\vec{B}_{1n}$ and changes to the value $\vec{B}_{2n}$ on an external surface. Outside a plate induction of magnetic-field is equal $\vec{B}_2$. Density of magnetic forces f_e it is possible to find, integrating a size $\vec{f}_{ev}$ on the thickness of plate. There is a density of superficial forces on the internal border of plate, in obedience to expression (8) equal:

$$f_{e1} = 0.5B_1H_1 - 0.5H_{1n}B_{1n} = 0.5H_1^2(\mu_0 - \mu_n),$$

where H_{1n} and B_{1n} – accordingly the field tension and magnetic induction on the internal surface of plate ($H_{1n} = H_1$, $B_{1n} = 0.5\mu_n H_{1n}$).

Because of superficial effect magnetic induction and currents pointed in a plate are up-diffused unevenly and concentrated mainly in a superficial layer. Superficial density of forces f_e grows, since an internal surface, and arrives at a maximum value f_{e2} on the external surface of plate. Depth of penetration of magnetic-field, thickness of superficial layer δ_n must not exceed the thicknesses of plate h_n . Otherwise there can be a "magnetic pillow" ($H_2 \neq 0$) creating reverse magnetic pressure on a plate and reducing density of electromagnetic forces f_e .

Motion of flat plate is possible, if the surface of density of electromagnetic forces exceeds some level depending on resistance to motion of plate, from counteraction of forces of loading from exteriority of plate. In the first approaching $f_e > f_{e2}$. If this inequality is executed, then motion of plate begins right after beginning of discharge. A moving plate accumulates large kinetic energy. If during the first fourth of period a plate did not move away from a causative agent, then affecting it proceeds. As for the first and second to the fourth of period identical energy of discharge is distinguished approximately, effort for the half of period almost twice as much, what for a fourth. Influence can take place during the second, third and subsequent semiwaves of discharge current. It is caused by the action of electromagnetic forces though less by value. Therefore common influence is determined by a total impulse for all the time of discharge.

Conclusions

It ensues from all foregoing, that magnetically-impulse method allows energy, applying the source of feed comparatively of small power, to distinguish in an object considerable instantaneous power with further transformation it in mechanical energy. The concentration of energy at impulsive supply of energy gives an opportunity to intensify a process, reduce its energy intensity, and on occasion, in particular, in a reciprocator, to get such results that is fundamentally unattainable at traditionally supply of energy. And absence of inertia environment through that pressure is usually passed creates the unique features of the use of magnetically-impulsive method.

References

1. Аренков А. Б. Основы электрофизических методов обработки материалов / А. Б. Аренков. – Л.: Машиностроение. – 1967. - 247 с.
2. Белый И. В. Справочник по магнитноимпульсной обработке металлов / Белый, И. В., Фертик С.Н., Хименко Л.Т. – Харьков: Вища шк., 1977. – 168 с.
3. Пат. 14657 А UA, МПК F02B 1/00 (2006) ПОРШНЕВИЙ ДВИГУН "ЛВС" / Концур В.В., Ялова Л.К., Стефанський С.П. – № 95020749; заявл. 20.02.1995; опубл. 20.01.1997, Бюл. № 4.
4. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / [под ред. В.А. Волосатова]. – Л.: Машиностроение, 1988. – 719 с.
5. Электротехнический справочник. Т. 3. / [под ред. проф. В.Г. Герасимова]. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 568 с.

МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНИЙ МЕТОД ЯК ОСНОВА РОБОТИ ПОРШНЕВОГО ДВИГУНА

В.В. Концур, Д.С. Комарчук

Запропоновано метод магнітно-імпульсної передачі енергії за допомогою індуктора до плоскої пластини, що дозволяє виділяти значну миттєву потужність з подальшим перетворенням її в механічну енергію.

Ключові слова: магнітно-імпульсний метод, поршневий двигун, накопичувач енергії, електричне поле, електромагнітна сила, енергоефективність

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД КАК ОСНОВА РАБОТЫ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

В.В. Концур, Д.С. Комарчук

Предложен метод магнитно-импульсной передачи энергии при помощи индуктора к плоской пластине, что позволяет выделять значительную мгновенную мощность с дальнейшим преобразованием ее в механическую энергию.

Ключевые слова: магнитно-импульсный метод, поршневой двигатель, накопитель энергии, электрическое поле, электромагнитная сила, энергоэффективность

681.513.2

ПРИВОД КРОКОВОГО ДВИГУНА 2L110M

І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, кандидати технічних наук

Національний університет біоресурсів

і природокористування України

А.В. Торопов, кандидат технічних наук

ТОВ "ЦІТ Альтера"

e-mail: toropov@sv-altera.com

Описано регульований електропривод на базі крокового двигуна. Досліджено роботу силового драйвера, наведено основні параметри та їх характеристики. Розглянуто особливості створення мікрокрокового режиму роботи двигуна та алгоритми керування силовим драйвером.

Ключові слова: кроковий двигун, контролер, силовий драйвер, імпульси, мікрокрок, піковий струм, діючий струм, стопорний струм

МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНИЙ МЕТОД ЯК ОСНОВА РОБОТИ ПОРШНЕВОГО ДВИГУНА

В.В. Концур, Д.С. Комарчук

Запропоновано метод магнітно-імпульсної передачі енергії за допомогою індуктора до плоскої пластини, що дозволяє виділяти значну миттєву потужність з подальшим перетворенням її в механічну енергію.

Ключові слова: магнітно-імпульсний метод, поршневий двигун, накопичувач енергії, електричне поле, електромагнітна сила, енергоефективність

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД КАК ОСНОВА РАБОТЫ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

В.В. Концур, Д.С. Комарчук

Предложен метод магнитно-импульсной передачи энергии при помощи индуктора к плоской пластине, что позволяет выделять значительную мгновенную мощность с дальнейшим преобразованием ее в механическую энергию.

Ключевые слова: магнитно-импульсный метод, поршневой двигатель, накопитель энергии, электрическое поле, электромагнитная сила, энергоэффективность

681.513.2

ПРИВОД КРОКОВОГО ДВИГУНА 2L110M

І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, кандидати технічних наук

Національний університет біоресурсів

і природокористування України

А.В. Торопов, кандидат технічних наук

ТОВ "ЦІТ Альтера"

e-mail: toropov@sv-altera.com

Описано регульований електропривод на базі крокового двигуна. Досліджено роботу силового драйвера, наведено основні параметри та їх характеристики. Розглянуто особливості створення мікрокрокового режиму роботи двигуна та алгоритми керування силовим драйвером.

Ключові слова: кроковий двигун, контролер, силовий драйвер, імпульси, мікрокрок, піковий струм, діючий струм, стопорний струм

Кроковий двигун – електромеханічний пристрій, який перетворює електричні імпульси в дискретні механічні переміщення. Ці двигуни вже давно та успішно застосовуються в таких пристроях – дисководах, принтерах, плоттерах, сканерах, факсах, а також у різноманітному промисловому і спеціальному обладнанні. Нині випускається багато різних типів крокових двигунів. Однак важливо, не тільки правильно вибрати тип двигуна, а і вірно вибрати схему драйвера та алгоритм роботи, який найчастіше визначається програмою мікроконтролера.

Крокові двигуни використовуються в приводах машин і механізмів у стартозупинному режимі або в приводах неперервного руху, де керуюча дія задається послідовністю електричних імпульсів [1]. На противагу сервоприводам крокові приводи дозволяють отримувати точне переміщення без використання зворотного зв'язку від датчиків кутового положення.

До складу електропривода з кроковим електродвигуном входить власне двигун (рис.1), силовий блок керування (драйвер) та зовнішній контролер. При невеликому запланованому ході платформи може використовуватися двигун із подовженим нарізним валом, по якому рухається платформа з інструментом або деталлю. Це дозволяє здешевити систему крокового двигуна за рахунок виключення кульково-гвинтової пари або іншого пристрою перетворення обертального руху в поступальний.

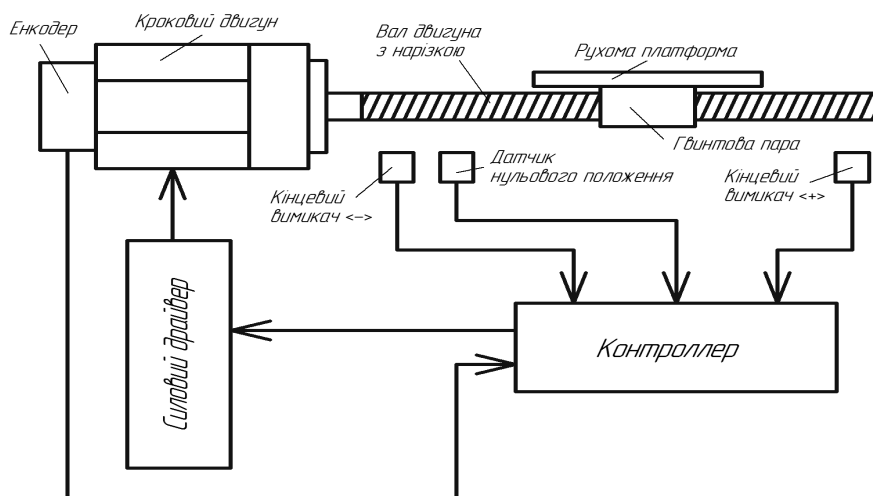


Рис. 1. Електрична схема керування кроковим приводом

Мета досліджень – підвищення ефективності використання системи керування кроковим двигуном.

Матеріали та методика досліджень. Аналіз роботи напівпровідникового силового блоку проводився з використанням положень теорії електропривода і силової електроніки та паспортних даних пристрою.

Результати досліджень. Для керування приводом потрібен спеціальний драйвер крокового двигуна, зокрема для гібридного двигуна серії 23HS може бути використано драйвер 2L110M [2] (рис. 2).

Драйвер являє собою силовий напівпровідниковий перетворювач з вбудованим найпростішим інтерфейсом, що забезпечує відпрацювання вхідних імпульсів напруги. Силовий драйвер крокового двигуна це ще й підсилювач потужності, який перетворює імпульси від зовнішньої системи керування в переміщення вала. При цьому кожен імпульс викликає переміщення вала на 1 мікрокрок, що дозволяє двигуну працювати плавніше з меншою вібрацією і шумом. Керування струмом двигуна за трьома рівнями, а саме рівнем пікового струму при перемиканні, робочим струмом при перемиканні, а також струмом утримання вала при стопорінні, забезпечує оптимальну роботу двигуна з точки зору перегрівання. Величина заданого струму визначається комбінацією DIP-перемикачів SW1–SW3 (див. рис. 2), а рівень струму під час стопоріння двигуна – перемикачем SW4. Так, при жорстких вимогах до моменту утримання вала струм повинен бути номінальним. В інших випадках допускається зниження результуючого струму до 50 % від номінального. Крім того, силовий драйвер має захист від перенапруги, імпульсів напруги, перевантаження за струмом, перегріву силових транзисторів і короткого замикання.

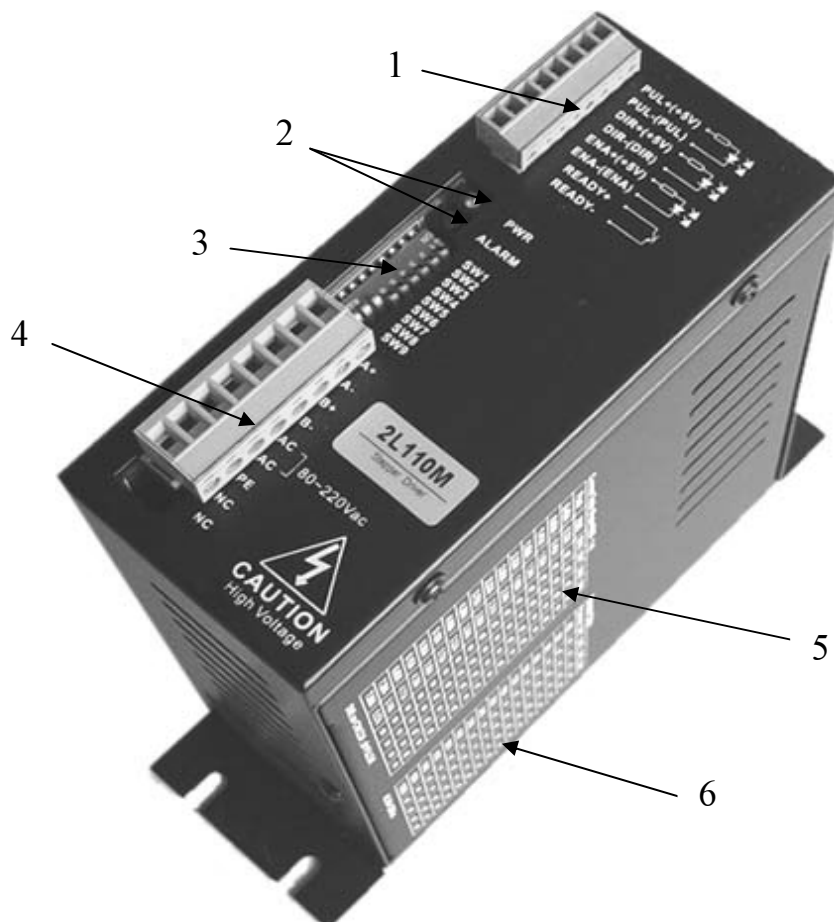


Рис 2. Силовий драйвер 2L110М:

- 1 – з'єднувач драйвера P1; 2 – світлодіодні індикатори; 3 – DIP-перемикачі SW1–SW9; 4 – з'єднувач драйвера P2; 5 – таблиця установки значення мікрокроку; 6 – таблиця установки значення струму

Важливою і суттєвою перевагою цього драйвера є можливість роботи при підвищеній напрузі змінного струму, тобто користувачеві не потрібно встановлювати додатковий випрямляч, вартість якого іноді перевищує навіть сам привод. У той же час наявність вбудованого джерела підвищеної напруги дозволяє забезпечити підвищені швидкості обертання без зменшення моменту обертання.

В таблицях 1 та 2 описано функції сигналів, що подаються на контакти з'єднувачів P1 та P2.

1. Сигнали керування контактів з'єднувача P1

Призначення клеми	Опис функції
PUL+(+5 V) PUL-(PUL)	Сигнал PULSE: в режимі роботи з одноканальним частотним входом (імпульс/напрямок) на цей вхід подається імпульсний сигнал, який відпрацьовується приводом за кожним переднім фронтом. В режимі роботи з двоканальним частотним входом (імпульс/імпульс) на цей вхід подається імпульс обертання за годинниковою стрілкою (CW). Для гарантованого спрацювання ширина імпульсів повинна бути більшою ніж 1,2 мкс
DIR+(+5 V) DIR-(DIR)	Сигнал DIR: в режимі роботи з одноканальним частотним входом цей вхід сприймає низький/високий рівні напруги, що відображують два напрямки обертання двигуна. В режимі роботи з двоканальним частотним входом (встановлюється перемикачем SW5), це вхід для подачі імпульсів руху проти годинникової стрілки (CCW), які відпрацьовуються за кожним переднім фронтом. Для гарантованого спрацювання команди переміщення сигнал визначення напрямку руху повинен бути надісланий не пізніше, ніж за 5 мкс до імпульсу переміщення
ENA+(+5 V) ENA-(ENA)	Сигнал Enable: використовується для вмикання/вимикання керування вихідними транзисторами драйвера. Високий рівень сигналу застосовується для активації ключів, а низький – для вимикання. Зазвичай цей вхід залишається як правило непідключеним (керування транзисторами активоване)
READY+	Додатний вихід сигналу аварії: READY є виходом оптопари з відкритим колектором, активним при нормальній роботі привода. Максимальна допустима напруга 30 В DC, максимальний вихідний струм 20 мА. Зазвичай підключається до клем входів програмованого логічного контролера
READY-	Від'ємний вихід сигналу аварії

Примітки: 1. Стан ON перемикача SW5 відповідає режиму PUL/DIR (імпульс/напрямок), стан OFF – режиму CW/CCW (імпульс/імпульс).

Для керування силовим драйвером використовують зовнішній контролер серії PMC, який може створювати два основні типи завдання переміщення: PUL/DIR – "крок/напрямок" та CW/CCW – "імпульс/імпульс" (рис. 3).

2. Силові контакти з'єднувача P2

Призначення клеми	Опис функції
AC	Вхід змінного струму. Напруга може бути в межах 80...220 В.
AC	Рекомендується працювати при напрузі 180 В, тобто приєднувати силовий драйвер до мережі через потужний знижувальний трансформатор.
Phase A	Обмотки А двигуна (підключити до А+ і А- двигуна)
Phase B	Обмотки В двигуна (підключити до В+ і В- двигуна)
PE	Підключення клеми заземлення

У режимі роботи з двоканальним частотним входом "імпульс/імпульс" імпульси подаються на обидва частотні входи PUL (CW) і DIR (CCW) залежно від необхідного напрямку обертання. При перемиканні привода в режим роботи з одноканальним частотним входом "крок/напрямок" напрямок руху визначається рівнем напруги на вході DIR. Для гарантованої обробки внутрішнім мікроконтролером тривалість високого і низького рівня імпульсу повинна бути не менше 1,5 мкс.

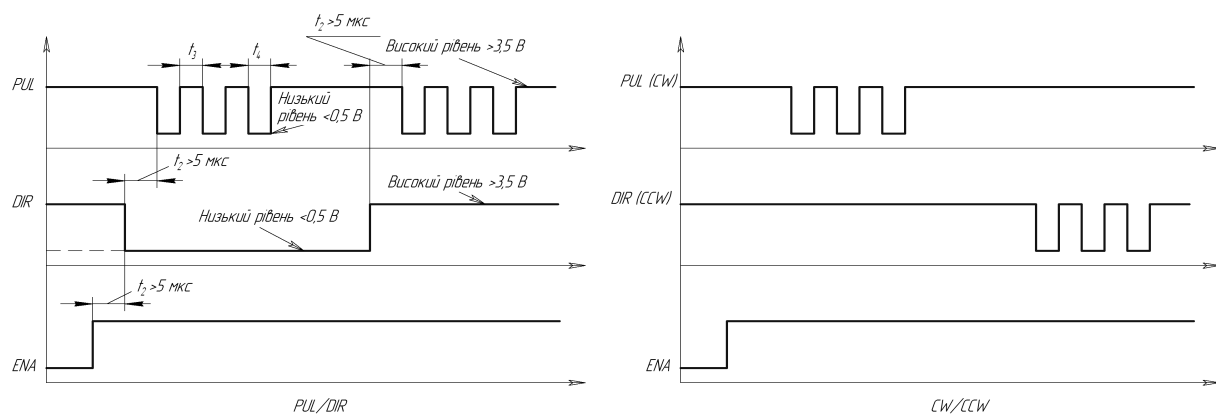


Рис. 3. Діаграма послідовності сигналів керування

2. Напрямок руху також залежить від схеми підключення приводного двигуна. Зміна місцями двох проводів однієї обмотки призведе до реверсу руху (наприклад, підключення клем А+ і А- двигуна до клем А- і А+ драйвера призведе до зміни напрямку руху).

Силова частина драйвера складається з восьми транзисторів VT1–VT8 (рис. 4), які працюють у режимі ШІМ зі стабілізацією струму в обмотках. Ширина імпульсу визначається різницею між реальним значенням струму та струмом, заданим за допомогою DIP-перемикачів. У більшості існуючих схем кожний із силових транзисторів шунтується зворотним діодом для зменшення перенапруги (на схемі не показано). Величини струмів в обмотках вимірюються датчиками струму в кожній обмотці двигуна.

На входи In1–In4 надходять імпульси з вбудованого в драйвер мікроконтролера. Частота перемикання пар ключів VT1–VT8 визначається частотою імпульсів, що надходять на вхід PUL у режимі роботи з одноканальним частотним входом та входи PUL/DIR у режимі роботи з

двоканальним частотним входом. Імпульси з мікроконтролера надходять на операційні підсилювачі $DA1 - DA8$, а з них - на керування силовими ключами $VT1-VT8$. За функціональними характеристиками підсилювачі $DA3, DA4, DA7, DA8$ у схемі використані з функцією "Заборона", а $DA1, DA2, DA5, DA6$ - з функцією логічного множення "І".

Сигнал дозволу роботи $ENA+$ і $ENA-$ є апаратним дозволом роботи і забезпечує гарантоване вимкнення ключів при надходженні сигналу з нульовим потенціалом. Таке схемне рішення використовується для забезпечення вимог з електробезпеки щодо ураження персоналу електричним струмом.

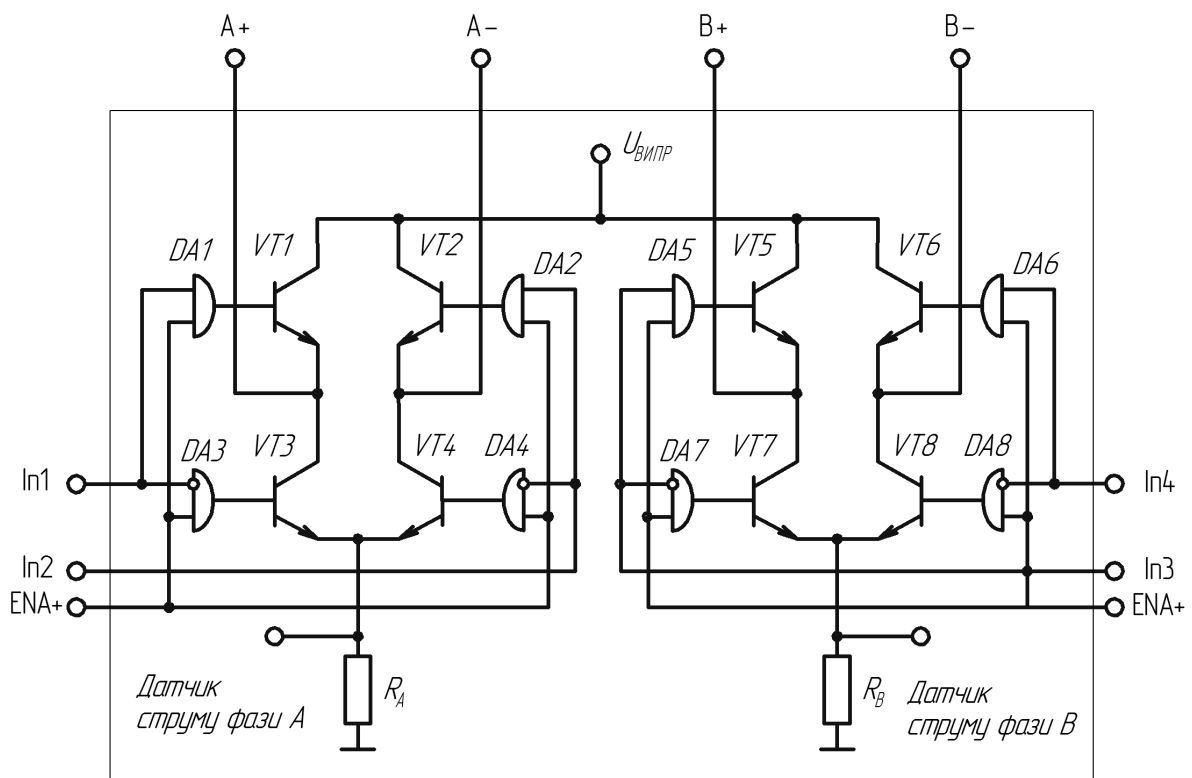


Рис. 4. Електрична схема силової частини драйвера

Розглянемо алгоритм роботи привода в напівкроковому режимі. В початковий момент роботи за відсутності сигналів на $In1-In4$ відкриті транзистори $VT3, VT4, VT7, VT8$. Коли сигнал надходить на $In1$, $VT3$ закривається, а $VT1$ вмикається. В цьому випадку до обмотки A прикладається випрямлена напруга живлення драйвера. Потім імпульс подається на вхід $In3$, вмикається $VT5$ і вимикається $VT7$. Обмотка B отримує напругу живлення і вал двигуна обертається на півкроку. Після цього знімається сигнал з $In1$ і двигун обертається в тому ж напрямку знову на півкроку, оскільки під напругою залишається лише обмотка B . Слід зазначити, що при живленні обох обмоток у напівкроковому режимі струм у кожній обмотці стабілізується на рівні 0,707 від номінального.

При мікрокроковому режимі роботи векторна сума струмів в обмотках A і B (рис. 5) формує результуючий вектор струму з амплітудою, номінальною для підключеного двигуна, та кутом, кратним

$$\alpha = \frac{360^\circ}{p_{\Pi} N},$$

де p_{Π} – число пар полюсів, N – число перемикачів обмоток двигуна.

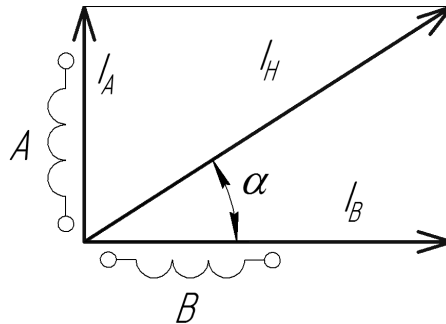


Рис. 5. Векторна діаграма струмів в обмотках двигуна

Кратність мікрокроку також виставляється за допомогою DIP-перемикачів.

Висновки

Силовий драйвер є джерелом постійного струму, який не тільки керує роботою крокового двигуна, а й здійснює захист від аварійних режимів.

Мікрокроковий режим створюється зміною співвідношення значень струму в обмотках A та B . Результуюча векторна сума відповідає номінальному значенню струму, заданому DIP-перемикачами.

Список літератури

1. Кулиниченко Г.В. Оценка характеристик мехатронного модуля на базе шагового двигателя / Г.В. Кулиниченко, В.А. Багута, А.Г. Коробов // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків, 2013. – №51(1024). – С. 43 – 53.
2. Two-phase hybrid stepper motor driver. Model 2L110M. Електронний ресурс [http://www.motionking.com/download/2L110M Instruction Rev.E.pdf](http://www.motionking.com/download/2L110M%20Instruction%20Rev.E.pdf)

ПРИВОД ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ 2L110M

И.М. Голодный, Ю.Н. Лавриненко, А.В. Торопов

Описан регулируемый электропривод на базе шагового двигателя. Исследована работа силового драйвера, приведены основные параметры и их характеристики. Рассмотрены особенности создания микрошагового режима работы двигателя и алгоритмы управления силовым драйвером.

Ключевые слова: шаговый двигатель, контроллер, силовой драйвер, импульсы, микрошаг, пиковый ток, действующий ток, стопорный ток

DRIVE OF STEPPER MOTOR 2L110M

I. Golodnyi, Y. Lavrinenko, A. Toropov

Described the regulated electric drive based on stepper motor. Work of power drivers are the key parameters and their characteristics. The features create a microstepping mode of the engine and power control algorithms driver.

Keywords: *stepper motor, controller, power driver, pulses, mikrostep, peak current, continuous current, retaining current*

УДК 621.313

РОЗРАХУНОК МАГНІТНОГО ПОЛЯ СТРУМІВ ОБМОТКИ СТАТОРА ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГУНА

А.В. Жильцов, доктор технічних наук
В.В. Ликтей, аспірантка*
e-mail: azhilt@mail.ru

Виведено аналітичні формули для розрахунку плоскопаралельного стаціонарного магнітного поля струмів, розміщених у пазах криволінійної трапецеїдальної форми статора вентильного двигуна.

Ключові слова: *вентильний двигун, обмотка статора, магнітне поле*

Аналіз магнітного поля вентильних двигунів є важливою частиною у вирішенні завдань проектування та обґрунтованого вибору електромагнітних навантажень електричних машин. Попередньо у роботі [1] було розроблено математичну модель вентильного двигуна з постійними магнітами, яка дозволяє провести розрахунок характеристик магнітного поля із урахуванням неоднорідності магнітних властивостей матеріалу. Її реалізацією на першому етапі є розрахунок поля обмотки статора. У загальному випадку це потребує застосування методів чисельного інтегрування закону Біо-Савара-Лапласа, що призводить до виникнення похибки при розрахунку компонент магнітного поля. У деяких випадках при певній геометрії обмоток статора вентильного двигуна допускається отримання аналітичних виразів для компонент магнітної індукції, що вони створюють.

Мета досліджень — розрахунок магнітного поля струмів обмотки статора у вентильному двигуні з неявнополюсним статором за умов прийняття його плоскопаралельним.

* Науковий керівник – доктор технічних наук А.В. Жильцов

DRIVE OF STEPPER MOTOR 2L110M

I. Golodnyi, Y. Lavrinenko, A. Toropov

Described the regulated electric drive based on stepper motor. Work of power drivers are the key parameters and their characteristics. The features create a microstepping mode of the engine and power control algorithms driver.

Keywords: *stepper motor, controller, power driver, pulses, mikrostep, peak current, continuous current, retaining current*

УДК 621.313

РОЗРАХУНОК МАГНІТНОГО ПОЛЯ СТРУМІВ ОБМОТКИ СТАТОРА ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГУНА

А.В. Жильцов, доктор технічних наук
В.В. Ликтей, аспірантка*
e-mail: azhilt@mail.ru

Виведено аналітичні формули для розрахунку плоскопаралельного стаціонарного магнітного поля струмів, розміщених у пазах криволінійної трапецеїдальної форми статора вентильного двигуна.

Ключові слова: *вентильний двигун, обмотка статора, магнітне поле*

Аналіз магнітного поля вентильних двигунів є важливою частиною у вирішенні завдань проектування та обґрунтованого вибору електромагнітних навантажень електричних машин. Попередньо у роботі [1] було розроблено математичну модель вентильного двигуна з постійними магнітами, яка дозволяє провести розрахунок характеристик магнітного поля із урахуванням неоднорідності магнітних властивостей матеріалу. Її реалізацією на першому етапі є розрахунок поля обмотки статора. У загальному випадку це потребує застосування методів чисельного інтегрування закону Біо-Савара-Лапласа, що призводить до виникнення похибки при розрахунку компонент магнітного поля. У деяких випадках при певній геометрії обмоток статора вентильного двигуна допускається отримання аналітичних виразів для компонент магнітної індукції, що вони створюють.

Мета досліджень — розрахунок магнітного поля струмів обмотки статора у вентильному двигуні з неявнополюсним статором за умов прийняття його плоскопаралельним.

* Науковий керівник — доктор технічних наук А.В. Жильцов

Матеріали та методика досліджень. На рис.1 зображено переріз вентильного двигуна з постійними магнітами. Статор і ротор двигуна є шихтованими і виготовлені з магнітом'якого матеріалу. Статор — це феромагнітна труба, уздовж якої пророблені канали для розташування обмотки.

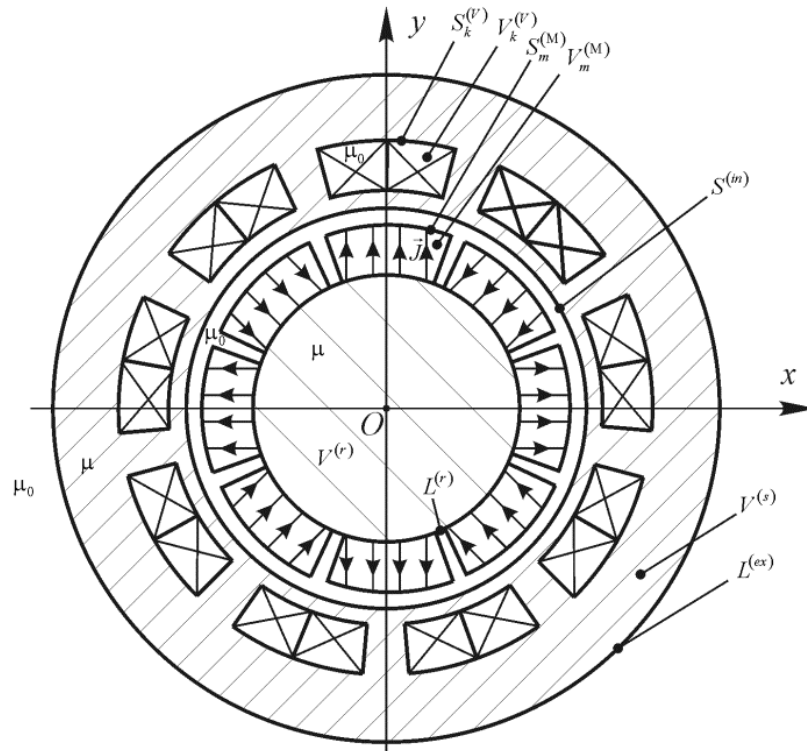


Рис. 1. Переріз вентильного електродвигуна з закритими пазами

Циліндричний ротор розміщений у середині статора. На поверхню ротора наклеєні постійні магніти, що намагнічені однорідно в площині Oxy . На рис.1 позначено: $V^{(s)}$ і $V^{(r)}$ — області, що зайняті феромагнітним статором і ротором; $S^{(r)}$ — поверхня, що обмежує область $V^{(r)}$, а $S^{(ex)}$ і $S^{(in)}$ — поверхні, що обмежують область $V^{(s)}$ з боку навколишнього простору і з боку ротора відповідно; у статорі $V^{(s)}$ є R пустот $V_k^{(V)}$, $k=1,2,\dots,R$, що заповнені середовищем із магнітною проникністю μ_0 ; $S_k^{(V)}$ — поверхня, що обмежує область $V_k^{(V)}$; $V^{(in)}$ і $V^{(ex)}$ — області між статором і ротором та поза статором відповідно, що заповнені середовищем із магнітною проникністю μ_0 .

Розрахуємо магнітне поле, що створюється нескінченно довгою котушкою, що являє собою два паралельних нескінченно довгих провідники, по яких течуть струми у протилежних напрямках. Визначимо магнітне поле, що створюється одним із двох провідників, по якому тече струм постійної густини по всьому перерізу провідника (див. рис.2).

Введемо циліндричну систему координат так, щоб вісь Oz була спрямована вздовж провідника. Магнітне поле, що створене струмом у провіднику, є плоскопаралельним, тобто картина поля знаходиться у площині, перпендикулярній осі z .

Напруженість магнітного поля струму $\vec{\delta}(M)dS_M$ у точці Q визначається виразом:

$$d\vec{H}(Q) = \frac{1}{2\pi} \frac{\vec{\delta}(M) \times \vec{r}_{MQ}}{r_{MQ}^2} dS_M, \quad (1)$$

де $\vec{r}_{MQ}$ — радіус-вектор, проведений із точки M у точку Q ;
 $\vec{\delta}(M) = \delta_z(M) \vec{n}_z$ — густина струму, А/м².

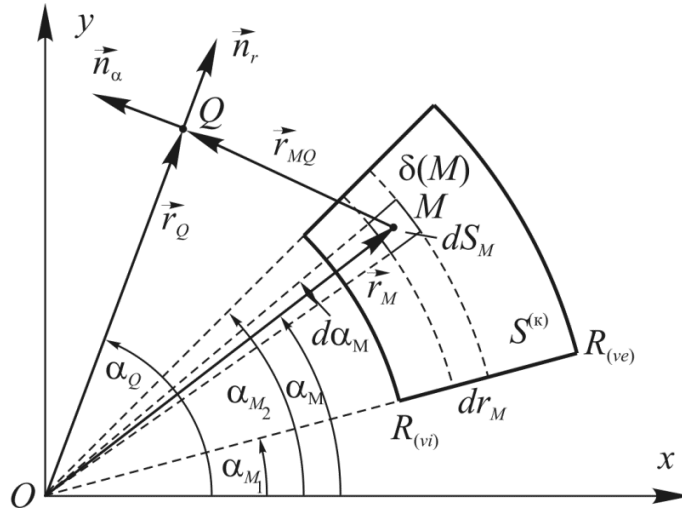


Рис.2. Переріз провідника у формі криволінійної трапеції

Таким чином,

$$d\vec{H}(Q) = \frac{\delta_z(M)}{2\pi} \frac{\vec{n}_z \times \vec{r}_{MQ}}{r_{MQ}^2} dS_M. \quad (2)$$

Враховуючи те, що радіус-вектор $\vec{r}_{MQ}$ (див. рис.2) можна записати у вигляді:

$$\vec{r}_{MQ} = \vec{r}_Q - \vec{r}_M, \quad (3)$$

то для визначення напруженості магнітного поля одержуємо вираз:

$$d\vec{H}(Q) = \frac{\delta_z(M)}{2\pi} \left\{ \frac{\vec{n}_z \times \vec{r}_Q}{r_{MQ}^2} - \frac{\vec{n}_z \times \vec{r}_M}{r_{MQ}^2} \right\} dS_M, \quad (4)$$

де $\vec{r}_M$ — радіус-вектор, проведений із початку координат O у точку M ; $\vec{r}_Q$ — радіус-вектор, проведений із початку координат O в точку Q ; $\vec{n}_z$ — одиничний вектор осі Oz ; $\delta_z(M)$ — z -проекція густини струму котушки в точці M .

Визначимо компоненти $d\vec{H}(Q)$, тобто $dH_r(Q)$, $dH_\alpha(Q)$ — радіальна і кутова складові. Оскільки вектор $\vec{r}_Q$ у циліндричній системі координат має компоненти $\vec{r}_Q = \{r_Q, 0, 0\}$, а вектор $\vec{r}_M$ має компоненти $\vec{r}_M = \{r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M), -r_M \sin(\alpha_Q - \alpha_M), 0\}$ і тому:

$$\begin{aligned}
\vec{n}_z \times \vec{r}_{MQ} &= \vec{n}_z \times \vec{r}_Q - \vec{n}_z \times \vec{r}_M = \\
&= \begin{vmatrix} \vec{n}_r & \vec{n}_\alpha & \vec{n}_z \\ 0 & 0 & 1 \\ r_Q & 0 & 0 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} \vec{n}_r & \vec{n}_\alpha & \vec{n}_z \\ 0 & 0 & 1 \\ r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M) & -r_M \sin(\alpha_Q - \alpha_M) & 0 \end{vmatrix} = \\
&= r_Q \vec{n}_\alpha - (r_M \sin(\alpha_Q - \alpha_M) \vec{n}_r + r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M) \vec{n}_\alpha) = \\
&= -r_M \sin(\alpha_Q - \alpha_M) \vec{n}_r + (r_Q - r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M)) \vec{n}_\alpha. \tag{5}
\end{aligned}$$

Для складових напруженості магнітного поля $d\vec{H}(Q)$, що створює елемент струму $\vec{\delta}(M)dS_M$, отримаємо вирази:

$$dH_r(Q) = -\frac{\delta_z(M)}{2\pi} \frac{dS_M}{r_{MQ}^2} r_M \sin(\alpha_Q - \alpha_M); \tag{6}$$

$$dH_\alpha(Q) = \frac{\delta_z(M)}{2\pi} \frac{dS_M}{r_{MQ}^2} (r_Q - r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M)), \tag{7}$$

де $r_{MQ} = (r_Q^2 + r_M^2 - 2r_Q r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M))^{\frac{1}{2}}$, $dS_M = r_M dr_M d\alpha_M$.

Тоді,

$$dH_r(Q) = -\frac{\delta_z(M)}{2\pi} \frac{r_M^2 dr_M \sin(\alpha_Q - \alpha_M) d\alpha_M}{r_Q^2 + r_M^2 - 2r_Q r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M)}; \tag{8}$$

$$dH_\alpha(Q) = \frac{\delta_z(M)}{2\pi} \frac{(r_Q + r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M)) r_M dr_M d\alpha_M}{r_Q^2 + r_M^2 - 2r_Q r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M)}. \tag{9}$$

Напруженість магнітного поля від електричного струму з постійною густиною δ_z , що тече по перерізу $S^{(k)}$ (див. рис. 2), знаходиться шляхом інтегрування виразів (8), (9):

$$H_r(Q) = \frac{\delta_z}{2\pi} \int_{R_{(vi)}}^{R_{(ve)}} \int_{\alpha_{M1}}^{\alpha_{M2}} \frac{r_M^2 dr_M \sin(\alpha_Q - \alpha_M) d\alpha_M}{r_Q^2 + r_M^2 - 2r_Q r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M)}; \tag{10}$$

$$H_\alpha(Q) = \frac{\delta_z}{2\pi} \int_{R_{(vi)}}^{R_{(ve)}} \int_{\alpha_{M1}}^{\alpha_{M2}} \frac{r_M (r_Q - r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M)) dr_M d\alpha_M}{r_Q^2 + r_M^2 - 2r_Q r_M \cos(\alpha_Q - \alpha_M)}. \tag{11}$$

Записані інтеграли можуть бути знайдені аналітично:

$$\begin{aligned}
H_r(r_Q, \alpha_Q, \alpha_{M1}, \alpha_{M2}) &= h_r(r_Q, \alpha_Q, R_{(ve)}, \alpha_{M2}) - h_r(r_Q, \alpha_Q, R_{(vi)}, \alpha_{M2}) - \\
&\quad - h_r(r_Q, \alpha_Q, R_{(ve)}, \alpha_{M1}) + h_r(r_Q, \alpha_Q, R_{(vi)}, \alpha_{M1}); \tag{12}
\end{aligned}$$

$$H_\alpha(r_Q, \alpha_Q, \alpha_{M1}, \alpha_{M2}) = h_\alpha(r_Q, \alpha_Q, R_{(ve)}, \alpha_{M2}) - h_\alpha(r_Q, \alpha_Q, R_{(vi)}, \alpha_{M2}) -$$

$$-h_{\alpha}(r_Q, \alpha_Q, R_{(ve)}, \alpha_{M_1}) + h_{\alpha}(r_Q, \alpha_Q, R_{(vi)}, \alpha_{M_1}), \quad (13)$$

де

$$h_r(r_Q, \alpha_Q, r_M, \alpha_M) = \frac{\delta_z}{4\pi r_Q} \left\{ \frac{(r_M^2 - r_Q^2 \cos 2(\alpha_M - \alpha_Q))}{2} \ln(r_Q^2 + r_M^2 - 2r_Q r_M \cos(\alpha_M - \alpha_Q)) + \right. \\ \left. + r_Q^2 \sin 2(\alpha_M - \alpha_Q) \operatorname{arctg} \frac{r_M - r_Q \cos(\alpha_M - \alpha_Q)}{r_Q \sin(\alpha_M - \alpha_Q)} - r_M r_Q \cos(\alpha_M - \alpha_Q) \right\}; \\ h_{\alpha}(r_Q, \alpha_Q, r_M, \alpha_M) = \frac{\delta_z}{2\pi} \left[\frac{r_M^2 (\alpha_M - \alpha_Q)}{4r_Q} - \frac{r_M^2}{2r_Q} \operatorname{arctg} \left(\frac{r_M + r_Q}{r_M - r_Q} \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_M - \alpha_Q}{2} \right) \right) - \right. \\ \left. - \frac{r_M}{2} \sin(\alpha_M - \alpha_Q) - \frac{r_Q \sin[2(\alpha_M - \alpha_Q)]}{4} \ln(r_M^2 + r_Q^2 - 2r_Q r_M \cos(\alpha_M - \alpha_Q)) - \right. \\ \left. - \frac{r_Q \cos[2(\alpha_M - \alpha_Q)]}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{r_M - r_Q \cos(\alpha_M - \alpha_Q)}{r_Q \sin(\alpha_M - \alpha_Q)} \right) \right].$$

Таким чином визначаються компоненти поля, яке створюється одним провідником (див. рис. 2). Але оскільки котушка обмотки статора складається із двох провідників (див. рис. 3) із перерізами $S_i^{(k-)}$ і $S_i^{(k+)}$, де знаки «-» і «+» вказують відносний напрямок струмів у провідниках, $i=1,2,\dots,p$, p — кількість обмоток статора, тобто полюсне ділення дорівнює $\tau = 2\pi/p$. Нехай відстань між двома половинками обмотки дорівнює $\Delta\tau$ (див. рис. 3).

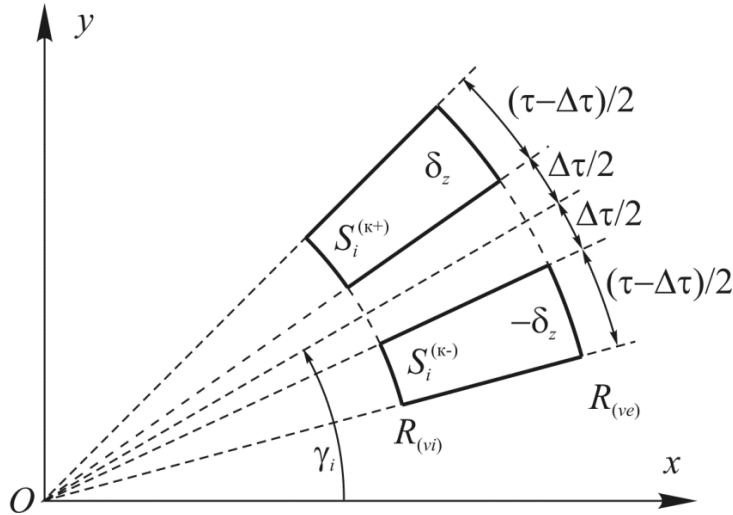


Рис. 3. Переріз i -тої котушки обмотки статора

Компоненти напруженості $\vec{H}_i^{(k)}(Q)$ магнітного поля, що створюється струмами i -тої котушки, $i=1,2,\dots,p$, у точці Q , визначаються так:

$$H_{ir}^{(k)}(r_Q, \alpha_Q) = H_r(r_Q, \alpha_Q, \gamma_i + \Delta\tau/2, \gamma_i + \tau/2) - H_r(r_Q, \alpha_Q, \gamma_i - \tau/2, \gamma_i - \Delta\tau/2),$$

$$H_{i\alpha}^{(k)}(r_Q, \alpha_Q) = H_{\alpha}(r_Q, \alpha_Q, \gamma_i + \Delta\tau/2, \gamma_i + \tau/2) - H_{\alpha}(r_Q, \alpha_Q, \gamma_i - \tau/2, \gamma_i - \Delta\tau/2),$$

де γ_i — кут, який визначає лінію симетрії i -тої котушки (див. рис. 3), тобто

$$\gamma_i = \frac{2\pi}{p}(i-1) + \gamma_0, \quad i=1, 2, \dots, p, \quad \gamma_0 \text{ — кут лінії симетрії першої котушки.}$$

Отже, магнітне поле, що створюють обмотки статора (див. рис. 1), у точці Q, дорівнює

$$\vec{H}^{(k)}(r_Q, \alpha_Q) = \sum_{i=1}^p \vec{H}_i^{(k)}(r_Q, \alpha_Q). \quad (14)$$

Для того, щоб перейти до декартової системи координат, використовують зв'язок із циліндричною системою координат:

$$H_x(Q) = H_r(Q) \cos \alpha_Q - H_{\alpha}(Q) \sin \alpha_Q;$$

$$H_y(Q) = H_r(Q) \sin \alpha_Q + H_{\alpha}(Q) \cos \alpha_Q.$$

Результати досліджень. Розглянемо вентильний електродвигун із такими геометричними параметрами статора (див. рис.1): внутрішній радіус обмотки $R_{(vi)} = 0,08$ м, зовнішній радіус обмотки $R_{(ve)} = 0,10$ м, кількість котушок в обмотці статора $p = 9$, густина струму в обмотці статора $\delta_z = 3 \cdot 10^6$ А/м².

На рис. 4 наведено розподіл магнітної індукції у вентильному двигуні, що створюється тільки обмоткою статора.

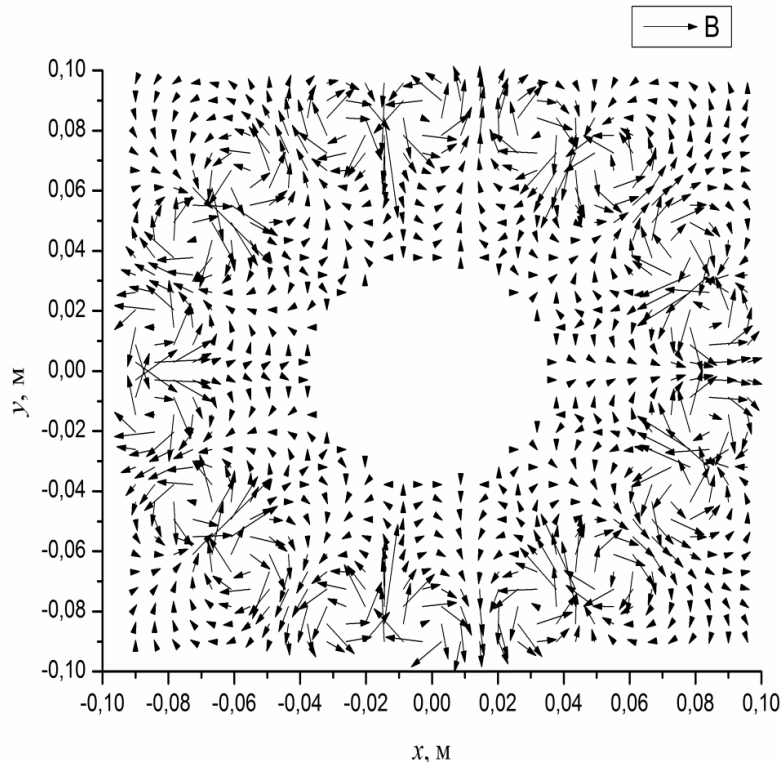


Рис. 4. Розподіл магнітної індукції від обмотки статора вентильного двигуна

Висновки

Розрахунок магнітного поля струмів обмоток статора вентильного двигуна є одним із етапів визначення його характеристик. Тому, на підставі безпосереднього інтегрування виразів для компонент напруженості магнітного поля, що створюється системою струмів, які розташовані в пазах у формі криволінійної трапеції, виведено аналітичні формули для їх визначення, що дозволяє усунути похибку чисельного розрахунку поля струмів обмоток статора вентильного двигуна.

Список літератури

1. Жильцов А. В. Крайова задача для тривимірного магнітного поля з урахуванням неоднорідності магнітних властивостей середовища / А. В. Жильцов, В. В. Ликтей // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. — Кременчук: КрНУ, 2014. — Вип. 1/2014(2). — С. 124 — 126.
2. Жильцов А. В. Розрахунок магнітного потоку від постійного магніту у формі циліндра за наявності феромагнетиків / А. В. Жильцов, В. В. Ликтей // Науковий вісник НУБіП України. Серія "Техніка та енергетика АПК". — К., 2014. — Вип. 194, ч. 2. — С. 122—132.
3. Стадник И. П. Электродинамика. Лекции с вопросами и задачами / И. П. Стадник. — К. : Техника, 2012. — 336 с.
4. Тамм И. Е. Основы теории электричества / И. Е. Тамм. — М. : Наука, 1991. — 504 с.
5. Тозони О. В. Метод вторичных источников в электротехнике / О. В. Тозони. — М. : Энергия, 1975. — 296 с.

РАСЧЁТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТОКОВ ОБМОТКИ СТАТОРА ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

А. В. Жильцов, В. В. Ликтей

Выведено аналитические формулы для расчета плоскопараллельного стационарного магнитного поля токов, размещенных в пазах криволинейной трапецевидной формы статора вентильного двигателя.

Ключевые слова: *вентильный двигатель, обмотка статора, магнитное поле*

CALCULATION OF MAGNETIC FIELD WINDING ON THE STATOR THE BRUSHLESS DC ELECTRIC MOTOR

A. Zhiltsov, V. Lykтей

Analytical formulas for the calculation of the plane-parallel stationary magnetic field currents, which are arranged in the curved grooves of trapezoidal shape in the stator of the brushless DC electric motor, were derived.

Keywords: *brushless DC electric motor, the magnetic field, stator winding*

ОСОБЛИВОСТІ СПАЛЮВАННЯ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ ІЗ ЗМІННИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ

*В.А. Колієнко, асистент
О.В. Шеліманова, кандидат технічних наук
e-mail: shelemanova@ukr.net*

Розглянуто питання взаємозамінності штучних газів та природного газу. Досліджено основні горючі характеристики суміші генераторного газу повітряної газифікації та природного газу. Визначено оптимальну частку природного газу у горючій суміші.

Ключові слова: *взаємозамінність, штучні газу, спалювання суміші газів, генераторний газ*

Недостатній обсяг видобування природного газу та інших викопних видів палива, а також значна частка природного газу у процесі вироблення теплової енергії в Україні (до 40 %) призводять до необхідності вирішення проблеми диверсифікації природного газу і більш широкого використання джерел "чистої" енергії, у тому числі енергії біомаси у вигляді генераторного, біогазу або інших видів штучних газів.

Мотиваційні причини такого процесу можуть бути різними—економічними, що спричинені прагматичною доцільністю; екологічними, які визначають принципи сталого розвитку суспільства та основи виживання людини; стратегічними, в основі яких лежить принцип енергетичної незалежності як елемента державної незалежності країни.

Пряме спалювання твердої біомаси або біопалива у ряді випадків дає позитивний економічний ефект, але необхідність високовартісної реконструкції котельні, потреба у забезпеченні дублюючого виду палива та екологічні проблеми спалювання твердого палива нерідко призводять до необхідності вироблення і спалювання генераторного або біогазу. Не менш актуальною є проблема спалювання інших штучних газів – коксового, доменного, нафтозаводського та інших альтернативних видів палива у суміші з природним газом з використанням одних і тих же газопальникових пристроїв.

Мета досліджень – вивчення основних характеристик суміші генераторного газу повітряної газифікації та природного газу і визначення оптимальної частки останнього у такій суміші.

Матеріали та методика досліджень. Характеристики процесу горіння і конструкції газопальникових пристроїв для таких газів залежать від їх складу і фізико-хімічних характеристик. Але основною особливістю штучних газів, у тому числі генераторних або нафто заводських, є зміна їх складу і характеристик у часі. Це спричиняє постійну зміну таких важливих характеристик роботи газопальникових пристроїв, як:

- нормальна швидкість розповсюдження полум'я ;
 - об'єм продуктів згорання і потреба у дуттьовому повітрі для повного згорання газу;
 - стабільність горіння, явища проскоку і відриву полум'я;
 - температура продуктів згорання, світимість факела і тепловіддача факела та продуктів згорання;
 - ентальпія продуктів згорання, теплова потужність пального і теплопродуктивність газоспалювального теплового агрегату;
 - тиск дуттьового повітря і горючого газу перед палиником.
- У табл. 1 наведено усереднені характеристики природного і генераторного газу повітряної газифікації.

1. Порівняльна таблиця основних фізико-хімічних властивостей природного та генераторного газів

№ з/п	Параметр	Одиниц і вимірювання	Вид газу	
			Природний	Генераторний
1	Нижча теплота згорання Q_H^p	кДж/нм ³ ккал/нм ³	35895 8573	5426 1295,9
2	Теоретичні витрати повітря V_T	нм ³ / нм ³	9,5	1
3	Об'єм продуктів згорання $V_{пз}$ при $\alpha=1$	нм ³ / нм ³	10,5	1,9
4	Максимальна швидкість розповсюдження полум'я u_H^{max}	м/с	0,37	1,03
5	Максимальна швидкість розповсюдження полум'я з врахуванням баласту $u_H^{max}_{бал}$	м/с	0,3677	1,297
6	Межі спалахування: нижня L_H ;	% об.	5,005	19,11
	верхня L_B ;	% об.	15,05	72,4
7	Коефіцієнт надлишку повітря на межах спалахування: на нижній межі α_H ;	част.од	1,994	4,163
	на верхній межі α_B ;	част.од	0,593	0,375
8	Вміст горючого газу в суміші з повітрям за умови стехіометричної реакції горіння $L_{ст}$;	% об.	9,5	45,07
9	Температура горіння газу $t_{гор}$	°C	2763,7	1674,6

Широкі межі спалахування, значна швидкість розповсюдження полум'я, і незначна теплота згорання штучного газу у порівнянні з природним спричинені високим вмістом у генераторному газі H_2 (до 25 % об.) і CO (до 26 % об.). Але при цьому температура продуктів згорання генераторного газу менша у порівнянні з природним у зв'язку із значними концентраціями баластних домішок у складі штучного газу – CO_2 (до 15 % об.) і N_2 (до 50 % об.).

Усереднений склад біогазу відрізняється від генераторного, має більшу теплоту згорання (до 23 МДж/м³), значну кількість CH₄, а також баласт (табл.2)

2. Усереднений склад біогазу [1].

Назва компонентів	CO ₂	O ₂	CH ₄	H ₂	N ₂	H ₂ S
Вміст компонентів, % об.	31,7	0,4	67,2	0,1	0,5	0,1

У табл.. 3 наведено характеристики нафтозаводського газу, склад якого змінюється за місяцями року.

3. Деякі характеристики нафтозаводського газу

Характеристики газу	Січень	Лютий	Березень	Червень	Серпень
Теплота згорання Q _н ^p , ккал/м ³	10138	9250	10656	10660	8390
Теоретична потреба у повітрі V ₀ , м ³ /м ³	11,1	10,1	11,6	11,5	8,9
Максимальний вміст CO ₂ ^{max} у продуктах згорання % об.	13,1	12,9	13,2	13,3	12,7
Щільність паливного газу ρ, кг/м ³	0,88	0,78	0,92	0,91	0,68
Верхня межа спалахування L ^b	18,7	19,8	17,9	18,5	22,4
Коефіцієнт надлишку повітря на верхній межі спалахування α ₁ ^{верхн.}	0,392	0,403	0,395	0,381	0,389
Вміст водню у складі газу H ₂ , %	42,4	44,8	37,5	42,2	54,5
Температура горіння t, °C	2093	2123	2185	2274	1755

Теплота згорання нафтозаводського газу значно більша за генераторний газ завдяки вмісту важких вуглеводнів. Хоча концентрація водню у нафтозаводському газі практично така ж, як і у генераторному. Основною ознакою штучних газів є високий вміст баласту (CO₂ і N₂) у їх складі, що погіршує горючі властивості палива.

Більшість газопальникових пристроїв, які занесено до довідників і альбомів сертифікованих пальників [1, 4], було сконструйовано і виготовлено для роботи на природному газі. Оцінка можливості їх роботи на інших видах газоподібного палива або оцінка взаємозамінності газів здійснюється за різними критеріями, але жоден із них не є абсолютно надійним і у повній мірі не може оцінити можливість забезпечення стабільності і сталості усіх характеристик топково-пальникових пристроїв у разі переходу з одного газу на інший. До таких характеристик належать:

- забезпечення сталості теплової потужності пальника і теплопродуктивності установки при переході з одного газу на інший, N = const;

- стабільність факела, відсутність явищ проскоку і відриву полум'я у всьому діапазоні регулювання роботи пальника;

- незмінність складу токсичних компонентів продуктів згорання (CO, NO_x, оксидів азоту, сажі та ін.);

- сталість величини швидкості розповсюдження полум'я.

У цілому взаємозамінними газами називають горючі газу, якщо один газ можна замінити іншим без зміни характеристик роботи

газоспалювальних агрегатів, пальників і без додаткового регулювання їх роботи.

Причиною наявності різних критеріїв взаємозамінності є те, що вони не отримані на основі фундаментальних законів, а є емпіричними. І різні гази, як і різні конструкції пальників мають різноманітні обмеження.

Так, критерій Воббе, який використовується у вітчизняній нормативній документації [1] оцінює в основному можливість забезпечення сталої теплової потужності агрегату при переході з одного горючого газу на інший:

$$- \text{простий критерій Воббе: } W_{O_1} = W_{O_2} = \dots W_{O_n} = \text{const} \pm 5\%; \quad (1)$$

$$\frac{Q_{H_1}^p}{\sqrt{\rho_1}} = \frac{Q_{H_2}^p}{\sqrt{\rho_2}} = \dots \frac{Q_{H_n}^p}{\sqrt{\rho_n}} = \text{const} \pm 5\%, \quad (2)$$

де W_{O_1} , W_{O_2} , W_{O_n} – значення простих критеріїв Воббе, які визначаються для горючих газів за величиною їх теплоти згорання ($Q_{H_i}^p$) і відносної щільності (ρ_i) за нормальних або стандартних умов;

– розширений критерій Воббе оцінює можливість використання однакового газоспалювального обладнання за умови підтримання перед пальниками різного тиску газу (P_i):

$$Q_{H_1}^p \sqrt{\frac{P_1}{\rho_1}} = Q_{H_2}^p \sqrt{\frac{P_2}{\rho_2}} = \dots Q_{H_n}^p \sqrt{\frac{P_n}{\rho_n}} = \text{const} \pm 5\%. \quad [3]$$

У Великій Британії для визначення взаємозамінності використовується метод еквівалентних вуглеводнів. Відмінності у нормальній швидкості розповсюдження полум'я, а також стабільності відносно відриву і проскоку полум'я різних газів враховує критерій Вівера. Оцінку меж горіння і повноти згорання газів здійснюють французьким методом індексів взаємозамінності Дельбо. Одним із таких індексів є індекс відсутності водню у складі суміші, він не повинен бути більшим за 10 % об.[4].

Результати досліджень. Високий вміст водню у складі штучних газів призводить до розширення діапазону між нижньою і верхньою межею горіння та ускладнює стабільний процес горіння без проскоку і відриву у пальнику. Суміш газу стає горючою у широкому діапазоні концентрацій.

Так, чистий генераторний має діапазон меж спалахування від $\alpha_n=4,15$ до $\alpha_v=0,375$, $\Delta\alpha=3,775$ (рис. 1). При такому широкому діапазоні меж спалахування забезпечити стале горіння без проскоку полум'я в кінетичних пальниках майже неможливо. Збільшення частки природного газу у суміші дозволяє суттєво зменшити діапазон меж спалахування і зробити можливим спалювання суміші газів у пальниках. Для чистого природного газу межі спалахування такі: $\alpha_n=2$, $\alpha_v=0,59$, $\Delta\alpha=1,41$ (рис. 1).

На рисунках 2 та 3 наведено графіки зміни вмісту газу у горючій суміші на межах спалахування та зміни нормальної швидкості розповсюдження полум'я залежно від частки природного газу у суміші.

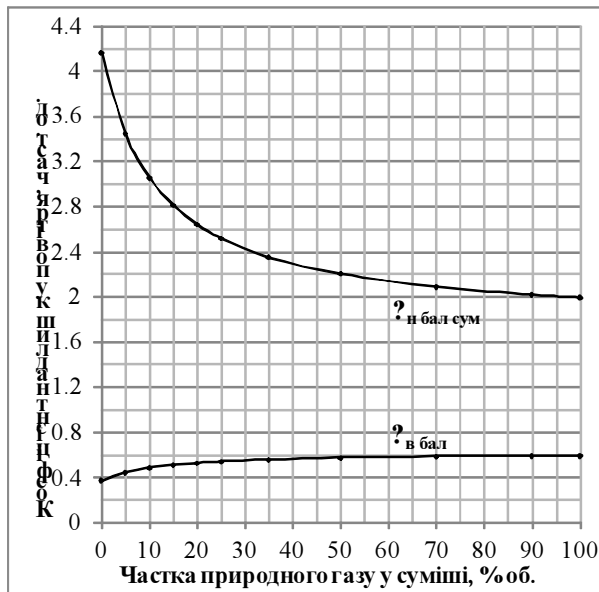


Рис. 1. Коефіцієнти надлишку повітря на нижній та верхній межах спалахування., част.од.

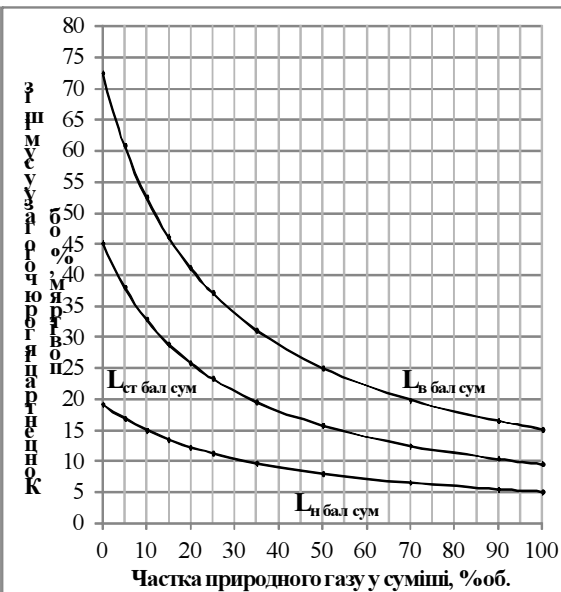


Рис. 2. Вміст газу на нижній і верхній межах спалахування та його стехіометричний склад, % об.

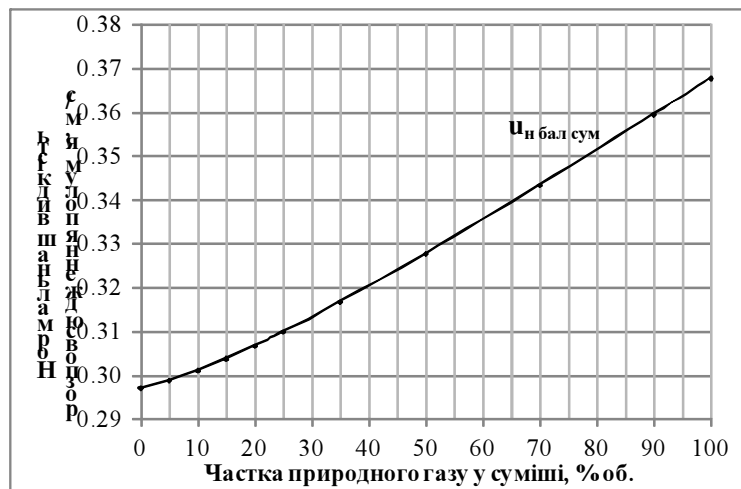


Рис.3. Нормальна швидкість розповсюдження полум'я, м/с

На роботу пальників суттєво впливає також зміна щільності газу. Вона спричиняє зміну витрат горючого газу, який проходить через вогневі отвори пальника, призводить до зменшення швидкості витікання газу через сопла і вогневі отвори пальників та зміни аеродинамічних умов перемішування газу з дуттьовим повітрям і впливає на повноту згорання та теплову потужність пальника. Так, при зміні щільності газу від $0,5 \text{ кг/м}^3$ до $1,2 \text{ кг/м}^3$ в умовах витікання газу у пальнику РГП-5 витрати газу зменшувались від $48 \text{ м}^3/\text{год}$ до $30 \text{ м}^3/\text{год}$ (тиск газу перед соплом становив 200 кПа). Вплив щільності і теплоти згорання газу на величину теплової потужності пальника обернено пропорційні.

У певному діапазоні зміни щільності і теплоти згорання газу можлива компенсація різновекторного впливу цих двох факторів на величину теплової потужності пальника, що створює умови рівнозамінності газів. Але при значних відмінностях у величині теплоти згорання газів вплив величини теплоти згорання стає більшим. Так, для нафтозаводських газів у діапазоні зміни щільності від 0,6 до 0,78 кг/м³ склад паливного газу практично не впливає на величину теплової потужності пальника. Але при збільшенні щільності від 0,8 до 1,2 за рахунок зменшення частки водню у газі теплова потужність пальника збільшується на 19 %.

Проведені дослідження свідчать про те, що генераторні газы, як і нафтозаводські та біогаз, за жодним із вищезазначених критеріїв не є взаємозамінними з природним газом. Крім того, спалювання газів із значною кількістю водню призводить не лише до змін у роботі газопальникових пристроїв, а й до зміни інтенсивності теплообміну в топковому просторі теплогенерувального обладнання. Критерієм відмінностей процесу теплообміну може бути співвідношення кількості карбону і гідрогену в елементарному складі горючого газу C_p/H_p , що впливає на емісійну тепловіддачу факела (рис.4).

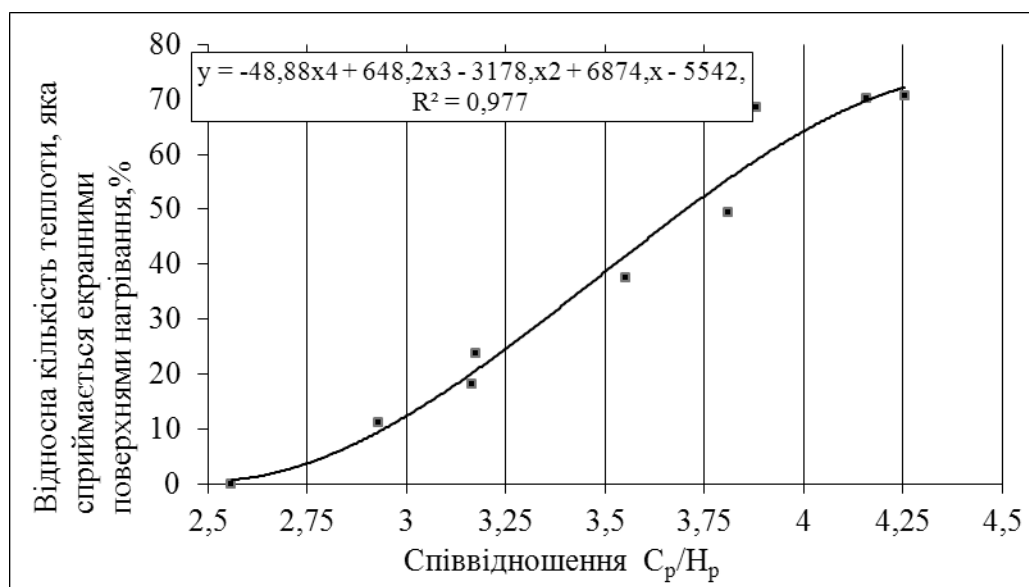


Рис.4. Вплив складу газу на емісійну тепловіддачу у топковому просторі

Зменшення відношення C_p/H_p призводить до скорочення кількості теплоти, яка сприймається екранними поверхнями нагрівання і до збільшення температури на виході із топки. Зазначене вище пояснюється впливом сажі, яка утворюється на проміжних стадіях горіння у факелі, на тепловіддачу випромінюванням.

На рис. 5 показана залежність вмісту водню у складі штучного газу на співвідношення C_p/H_p .

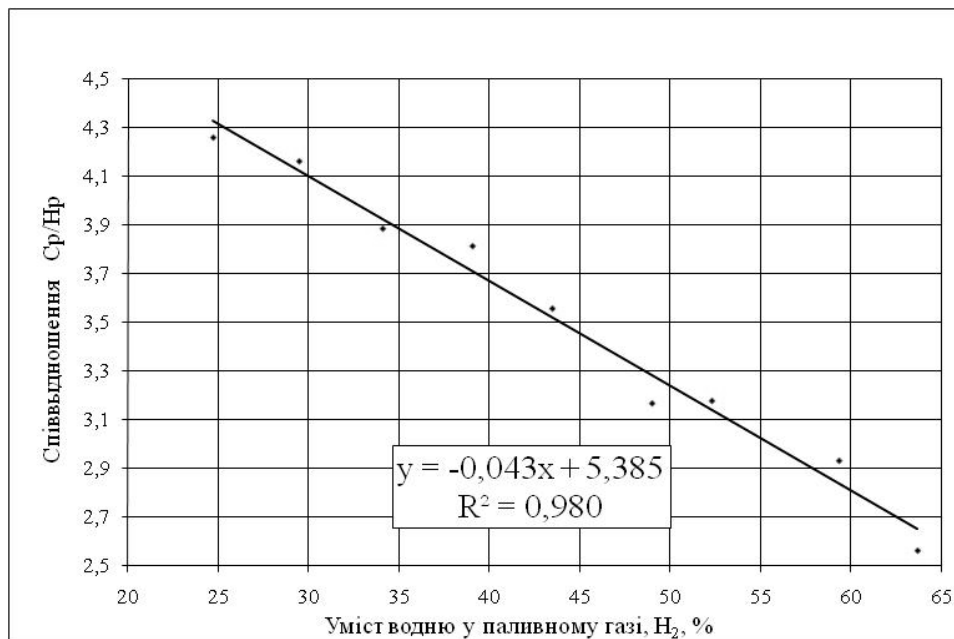


Рис. 5. Вплив кількості водню у складі горючого газу на співвідношення C^p/ H^p в елементарному складі газу

Висновки

Проведені дослідження показали, що досягнення взаємозамінності за одним із критерієм (Воббе) можливе лише за умови попереднього змішування природного газу із незначною часткою генераторного і подачі такої суміші до пальників, призначених для спалювання природного газу. Але частка генераторного газу у такій суміші не повинна перевищувати 6-11% об., що не може задовольняти амбіційні плани із заміщення природного газу на альтернативні і відновлювальні джерела енергії.

Таким чином, використання генераторних і інших штучних газів, для яких критерії взаємозамінності з природними газами не є однаковими у допустимих межах відхилень, неможливе без внесення змін у конструкцію газопальникових пристроїв або використання спеціальних пальників. Отже, можливості швидкого переходу з одного виду газового палива на інший і реалізації переваги використання газового палива у порівнянні з твердим немає.

Список літератури

1. Газы горючі природні родовищ України для промислового та комунально-побутового призначення : ТУ У 320.001.58764-033-2000. – К. : Вид-во "Київ", 2000. – 37 с.
2. Иванов Ю. В. Основы расчета и проектирования газовых горелок / Ю. В. Иванов. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 360 с.
3. Сигал И. Я. Особенности горения и опыт сжигания биогаза в промышленных котлах [Электронный ресурс] / И.Я.Сигал, А.В.Марасин // Праці 10 міжн. Конф. " Енергіябіомаси", Київ, 23-24 вересня 2014 р. – К., 2014.
4. Natural gas — Quality designation : EN ISO 13686 . – Introduced 2007-09-01. – W. : Austrian Standards Institute, 2007. – 48 p.

ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ С ПЕРЕМЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

В.А. Колиенко, Е.В. Шелиманова

Рассмотрены вопросы взаимозаменяемости искусственных газов и природного газа. Исследованы основные горючие характеристики смеси генераторного газу воздушной газификации и природного газа. Определена оптимальная доля природного газу в горючей смеси.

Ключевые слова: *взаимозаменяемость, искусственные газы, сжигание смеси газов, генераторный газ*

FEATURES OF COMBUSTIBLE GASES BURNING WITH VARIABLE COMBUSTION PROCESS

V. Kolyenko, O. Shelimanova

In the article the interchangeability problems of artificial gases and natural gas are considered. Main combustible characteristics of a combustible gas mixture made of producer gas of air gasification and natural gas are analyzed. The optimal part of natural gas in the fuel mixture is determined.

Keywords: *interchangeability, artificial gases, gas mixture combustion, producer gas*

УДК 621.3.066.5/6:636

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПРОПЛАВЛЕННЯ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ, ЩО ВИГОТОВЛЕНІ З ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

В.В. Коробський, кандидат технічних наук

І.М. Виноградов, студент магістратури

e-mail: kor-vlad-2002@mail.ru

Наведено результати розрахунків глибини проплавлення контакт-деталей електромагнітних пускачів для найпоширеніших контактних матеріалів при однократній комутації струму. Струмові навантаження вибрано для пускачів 1 та 2 величини. Формулу для визначення глибини проплавлення отримано при рішенні рівняння теплопровідності з урахуванням граничних умов II роду.

Ключові слова: *глибина проплавлення, контакт, електромагнітний пускач, температура, теплопровідність, контактний матеріал*

ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ С ПЕРЕМЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

В.А. Колиенко, Е.В. Шелиманова

Рассмотрены вопросы взаимозаменяемости искусственных газов и природного газа. Исследованы основные горючие характеристики смеси генераторного газу воздушной газификации и природного газа. Определена оптимальная доля природного газу в горючей смеси.

Ключевые слова: *взаимозаменяемость, искусственные газы, сжигание смеси газов, генераторный газ*

FEATURES OF COMBUSTIBLE GASES BURNING WITH VARIABLE COMBUSTION PROCESS

V. Kolyenko, O. Shelimanova

In the article the interchangeability problems of artificial gases and natural gas are considered. Main combustible characteristics of a combustible gas mixture made of producer gas of air gasification and natural gas are analyzed. The optimal part of natural gas in the fuel mixture is determined.

Keywords: *interchangeability, artificial gases, gas mixture combustion, producer gas*

УДК 621.3.066.5/6:636

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПРОПЛАВЛЕННЯ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ, ЩО ВИГОТОВЛЕНІ З ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

В.В. Коробський, кандидат технічних наук

І.М. Виноградов, студент магістратури

e-mail: kor-vlad-2002@mail.ru

Наведено результати розрахунків глибини проплавлення контакт-деталей електромагнітних пускачів для найпоширеніших контактних матеріалів при однократній комутації струму. Струмові навантаження вибрано для пускачів 1 та 2 величини. Формулу для визначення глибини проплавлення отримано при рішенні рівняння теплопровідності з урахуванням граничних умов II роду.

Ключові слова: *глибина проплавлення, контакт, електромагнітний пускач, температура, теплопровідність, контактний матеріал*

Вся електрична енергія W , яка виділяється в комутуючих пристроях при комутації, перетворюється в теплову Q . Частина її (Q_1) витрачається на нагрівання маси металу контакт-деталі нерухомої та рухомої до температури плавлення і частково на плавлення металу на робочій поверхні контакт-деталі; інша частина (Q_2) - на нагрівання маси розплавленого металу до температури кипіння і на випаровування частини металу. З іншої сторони, ця енергія W має дві складові: одну – прямо пропорційну часу горіння дуги t_0 і яка обумовлюється активним навантаженням кола - W_R , та другу – постійну - W_L , яка дорівнює енергії магнітного поля, накопиченої в індуктивностях електричного кола і витрачається в комутуючих пристроях при комутації.

Мета досліджень – визначення величини ерозії та глибини проплавлення контакт-деталей електромагнітних пускачів при однократній комутації струму з урахуванням теплофізичних характеристик і розрахункових температур плавлення та кипіння контактних матеріалів.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження для контакт-деталей пускачів проводилися за методикою, яка викладена в [1]. Струмові навантаження

вибрано, виходячи із номінальних робочих струмів: 4; 6,3; 10 А.

Теплофізичні характеристики і температури плавлення та кипіння визначено для реальних контактних матеріалів (див. таблицю).

Математичні розрахунки проводилися з використанням програми «MathCAD 7 Professional».

При вивченні шліфа поздовжнього перерізу електродів контактних матеріалів використовувався мікроскоп МИМ-7.

Результати досліджень. Розглядаючи теплові та електромагнітні процеси для одного полюса пускача, можна записати [2]:

$$\begin{aligned} W &= Q = Q_1 + Q_2 = W_R + W_L = \\ &= P_{cep} \cdot t_0 + W_L = U_0 I_0 t_0 \omega_R + U_0 I_0 t_0 \omega_L = U_0 I_0 t_0 \cdot \omega, \end{aligned} \quad (1)$$

де $P_{cep} = \frac{1}{6} U_0 I_0 \left(1 + 2 \frac{U_1}{U_0} \right)$ – середня потужність у контакт-деталях,

яка визначається активною складовою навантаження R_0 , Вт; U_0 – напруга мережі (джерела живлення), В; I_0 – струм навантаження, А; U_1 – спад напруги на опорі контакту кола, В; ω_R – коефіцієнт, який показує відношення напруг U_1 і U_0 ; ω_L – коефіцієнт, який залежить від характеру навантаження кола; ω – коефіцієнт, який залежить від характеру навантаження кола і показує частку енергії магнітного поля W_L , яка витрачається власне в контакт-деталях при їх розмиканні [4].

За формою більшість контакт-деталей пускачів виготовляються круглого перерізу з плоскою або сферичною робочою поверхнею. Тому, при однократній комутації контакт-деталей будемо вважати, що тепловіддача здійснюється з протилежного боку робочої поверхні (з боку прикріплення до контактотримача) в навколишнє середовище, а з бічних

поверхонь тепловіддача відсутня і, що тепло до контакт-деталі надходить імпульсами протягом часу t_0 , крізь всю його робочу площу поверхнею S . Тепло надходить перпендикулярно до поверхні і теплопровідність у всіх напрямках – однакова. Тривалість імпульсів тепла Q_1 дорівнює часу горіння електричної дуги між електродами t_0 ($\approx$ часу однократного замикання або розмикання контакт-деталей). Кількість тепла Q_1 – це тепло, необхідне для нагрівання контакт-деталі до температури плавлення.

Граничні умови:

- $T(x,0)=0$ (перепад температур контакт-деталі і навколишнього середовища в початковий момент дорівнює нулю);
- $T(l, t)=0$ (температура точок протилежного боку деталі при $x=l$ також дорівнює температурі середовища і є сталою величиною).

Рівняння теплопровідності в цьому випадку таке, що ізотермічні поверхні є концентричними сферами і температура контакт-деталі залежить тільки від координати x і часу t [2], тобто:

$$\frac{dT}{dt} = a \left(\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{2}{x} \cdot \frac{dT}{dx} \right), \quad (2)$$

де T – температура точок об'єму контакт-деталі, яка нагрівається, К;
 a – коефіцієнт температуропровідності контактного матеріалу, м²/с.

У випадку дії плоского джерела тепла розв'язком рівняння (2) є вираз:

$$T = \frac{G}{2\sqrt{\pi at}} \cdot e^{-\frac{x^2}{4at}}, \quad (3)$$

де G – сила імпульсного джерела тепла, яке розміщено в площині розмикання контакт-деталей безпосередньо на поверхні при $x=0$ (густина теплового потоку, який надходить до однієї контакт-деталі), м·К; x – координата точки, температура якої в момент t дорівнює T .

Розв'язок рівняння теплопровідності (3) такий:

$$e^{-\frac{h_i^2}{4at}} = \frac{T_{i \text{ розр}} 2\sqrt{\pi at_0}}{G}, \quad (4)$$

де h_i – глибина зони плавлення або кипіння, або випаровування, координата точок, температура яких досягає $T_{i \text{ розр}}$ до кінця часу горіння дуги t_0 .

У цьому випадку визначення глибини проплавлення h зводиться до розв'язку трансцендентного рівняння, використовуючи формулу (1):

$$e^{\frac{h^2}{4at}} = \frac{W}{4\sqrt{\pi at_0} \cdot \gamma f_0 T_{\text{розр}}}. \quad (5)$$

Після математичних перетворень виразу (5), глибина проплавлення буде:

$$e^{\frac{h^2}{4at}} = \frac{W}{4\sqrt{\pi a t_0} \cdot \gamma c f_0 T_{\text{розр}}} , \quad (6)$$

де $b = \sqrt{\pi \lambda \gamma c}$ – коефіцієнт, який визначається тільки теплофізичними характеристиками контактного матеріалу.

(7)
Коефіцієнт b для екологічно безпечних контактних матеріалів за нашими розрахунками становить:

$$b = (50-67) 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{с}^{\frac{1}{2}}} . \quad (8)$$

Коефіцієнт температуропровідності для реальних контактних матеріалів (мідь, срібло, СрН-90) становить $a = (1,164 \dots 1,689) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Глибина проплавлення за даними випробуваних зразків контактних матеріалів становить: $h \approx (0,01 \dots 0,1) \text{ мм} = (1,0 \dots 10) 10^{-5} \text{ м}$.

Тому, підставляючи наведені числові значення до виразу $e^{\frac{h^2}{4at_0}}$, можна обчислити величину $e^{\frac{h^2}{4at_0}}$, яка при реальних числових співвідношеннях мало відрізняється від одиниці. В подальшому глибина проплавлення однієї контакт-деталі визначається за формулою:

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{U_0 I_0 \omega \sqrt{t_0}}{\psi b T_{\text{розр}}}} . \quad (9)$$

Числові значення глибини проплавлення для різних контактних матеріалів при різних величинах струму наведено в таблиці.

Різниця розрахункових ($h_1 = 7,673 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ при $t_0 = 30 \text{ мс}$) та експериментальних даних становить 4,1 %. Таким чином, враховуючи, що розрахунок теплового режиму електродів зроблено один раз, збіг результатів розрахунку з експериментальними даними задовільний.

У той же час потрібно врахувати, що розрахунок здійснено для матеріалу, який має гетерогенну структуру. При переході від електродів гетерогенної структури до гомогенної картина може змінюватися; тому при розрахунках потрібно робити акцент на факторі гетерогенності.

Висновки

1. При деяких припущеннях тепловиділення в процесі комутації електричного струму в пусках результат розрахунку теплового режиму електродів та глибини проплавлення досить добре збігаються з експериментальними даними глибини проплавлення (відрізняються на 4...5 %).

2. Глибина проплавлення визначається теплофізичними характеристиками контактного матеріалу, розрахунковою температурою розплавлення, кипіння, випаровування контактного матеріалу.

3. Величина ерозії прямо пропорційна величині комутованого струму 4; 6,3; 10А.

**Результати розрахунків глибини зон плавлення h_1
і кипіння h_2 контакт-деталей у пусках ПМЛ
при однократній комутації струму для різних матеріалів**

Контактний матеріал	Температура	Струм , А	Глибини зон h_1 і h_2 , м				
			Час горіння дуги, мс				
			$t_0=10$	$t_0=20$	$t_0=30$	$t_0=40$	$t_0=50$
Ag (100 %)	$T_{1розр}$	I=4	5.545e-5	5.678e-5	5.930e-5	6.181e-5	6.415e-5
		I=6,3	6.958e-5	7.126e-5	7.442e-5	7.757e-5	8.051e-5
		I=10	8.767e-5	8.977e-5	9.376e-5	9.773e-5	1.014e-4
	$T_{2розр}$	I=4	1.998e-5	2.046e-5	2.137e-5	2.227e-5	2.312e-5
		I=6,3	2.513e-5	2.573e-5	2.687e-5	2.801e-5	2.907e-5
		I=10	3.438e-5	3.52e-5	3.677e-5	3.832e-5	3.978e-5
CpH-90	$T_{1розр}$	I=4	5.457e-5	5.588e-5	5.836e-5	6.084e-5	6.314e-5
		I=6,3	6.849e-5	7.013e-5	7.324e-5	7.635e-5	7.924e-5
		I=10	8.629e-5	8.836e-5	9.228e-5	9.619e-5	9.984e-5
	$T_{2розр}$	I=4	1.955e-5	2.002e-5	2.091e-5	2.18e-5	2.262e-5
		I=6,3	2.454e-5	2.513e-5	2.624e-5	2.735e-5	2.839e-5
		I=10	3.092e-5	3.166e-5	3.306e-5	3.446e-5	3.577e-5
CpM-0,2+M1	$T_{1розр}$	I=4	5.821e-5	5.96e-5	6.225e-5	6.489e-5	6.735e-5
		I=6,3	7.305e-5	7.48e-5	7.812e-5	8.143e-5	8.452e-5
		I=10	9.207e-5	9.428e-5	9.846e-5	1.026e-4	1.065e-4
	$T_{2розр}$	I=4	2.113e-5	2.164e-5	2.26e-5	2.355e-5	2.445e-5
		I=6,3	2.652e-5	2.715e-5	2.836e-5	2.956e-5	3.068e-5
		I=10	3.341e-5	3.421e-5	3.573e-5	3.724e-5	3.866e-5
Cu (100 %)	$T_{1розр}$	I=4	4.694e-5	4.807e-5	5.020e-5	5.233e-5	5.431e-5
		I=6,3	5.891e-5	6.032e-5	6.300e-5	6.567e-5	6.816e-5
		I=10	7.422e-5	7.600e-5	7.937e-5	8.274e-5	8.587e-5
	$T_{2розр}$	I=4	1.788e-5	1.831e-5	1.913e-5	1.994e-5	2.069e-5
		I=6,3	2.244e-5	2.298e-5	2.4e-5	2.502e-5	2.597e-5
		I=10	2.828e-5	2.896e-5	3.024e-5	3.152e-5	3.272e-5
83 %Cu+10 %Mo+ 5 %MoO ₃ +3 %C+ 1,0 %Ni	$T_{1розр}$	I=4	4.538e-5	4.647e-5	4.853e-5	5.059e-5	5.250e-5
		I=6,3	5.695e-5	5.832e-5	6.090e-5	6.349e-5	6.589e-5
		I=10	7.175e-5	7.347e-5	7.673e-5	7.998e-5	8.302e-5
	$T_{2розр}$	I=4	1.451e-5	1.486e-5	1.552e-5	1.617e-5	1.679e-5
		I=6,3	1.821e-5	1.864e-5	1.947e-5	2.030e-5	2.107e-5
		I=10	2.294e-5	2.349e-5	2.453e-5	2.557e-5	2.654e-5

Список літератури

1. Коробський В.В. Установка для експериментального дослідження електромагнітних пускачів / В.В. Коробський // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2011. – №161. – С. 78–83.
2. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В.Лыков. – М.: ГИТЛ, 1967. – 303 с.
3. Справочник по электротехническим материалам. Т.3 / [под ред. Ю.В.Корицкого, В.В.Пасынкова, Б.М.Тареева. – 3-е изд., перераб.] – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 728 с.

4. Томан А.С. Электроэнергетические показатели разрывных контактов / А.С.Томан, М.Ф.Сагач, С.П.Кохановский // Электрификация сельскохозяйственного производства: научн. тр. УСХА. – К.: Изд - во УСХА, 1975. – Вып. 110, Том. II – С. 61–71.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ КОНТАКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, КОТОРЫЕ ИЗГОТОВЛЕННЫ ИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Коробский, И.М. Виноградов

Приведены результаты расчетов глубины проплавления контакт-деталей электромагнитных пускателей для наиболее распространенных контактных материалов при однократной коммутации тока. Токовые нагрузки выбираются для пускателей 1 и 2 величины. Формула для определения глубины проплавления получена при решении уравнения теплопроводности с учетом пограничных условий II рода.

Ключевые слова: глубина проплавления, контакт, электромагнитный пускатель, температура, теплопроводность, контактный материал

DETERMINATION OF THE MELTING OF THE CONTACTS OF ELECTRICAL DEVICES THAT ARE MADE FROM ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MATERIALS

V. Korobskyy, I. Vinogradov

The results of calculations of penetration depth contact details of electromagnetic actuators for the most common materials in contact once the current commutation. Current load selected for actuators 1 and 2 sizes. The formula for determining the depth of penetration is obtained in the solution of the heat equation with the boundary conditions of the second-order.

Keywords: depth fusion, contact, electromagnetic actuator, temperature, heatconductivity, contact material

ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІМПУЛЬСНОГО ДЖЕРЕЛА ВИСОКОЇ НАПРУГИ

А.І. Чміль, доктор технічних наук

О.В. Науменко, асистент

Д.Ю. Ілюхін, О.Д. Мельник, аспіранти

e-mail: virf750@mail.ru

Розглянуто імпульсне джерело високої напруги, досліджено його характеристики. Встановлено частотну залежність параметрів імпульсного джерела високої напруги.

Ключові слова: зернова маса, комірні шкідники, сильне електричне поле, імпульсне джерело високої напруги

На кафедрі електропривода та електротехнологій ведуться дослідження з використання сильного електричного поля (СЕР) як засобу впливу на зернову масу [2]. Одним із напрямів застосування СЕР є обробка зерна з метою знешкодження комах-шкідників зернових запасів [1]. Таким чином, СЕР є одним із діючих факторів при обробці зернових [3, 4].

Використання традиційних джерел високої напруги (джерела високої напруги змінного струму промислової частоти та джерела високої напруги постійного струму) для живлення установок для обробки зерна в СЕР пов'язано з такими недоліками, як великі габарити та матеріалоемність джерел.

Мета досліджень – визначення основних характеристик та встановлення діапазону регулювання параметрів імпульсного джерела високої напруги.

Матеріали та методика досліджень. Під час досліджень проведено досліди холостого ходу та знято навантажувальні характеристики імпульсного джерела високої напруги при зміні частоти імпульсів керування.

Результати досліджень. Основною складовою імпульсного джерела високої напруги (рис. 1) є високовольтний імпульсний трансформатор з помножувачем, що забезпечує подачу високої напруги до системи електродів, між якими знаходиться продукція.

Режим роботи установки задається зміною частоти імпульсів керування та величини напруги живлення імпульсного трансформатора. Тому, необхідно було визначити залежність напруги, яка знімається з високовольтного виходу, від частоти імпульсів керування та значення напруги, що подається на первинну обмотку трансформатора, встановити межі зміни значень струму холостого ходу та потужності холостого ходу.

Результати досліджень наведено на рис. 2 – 5.

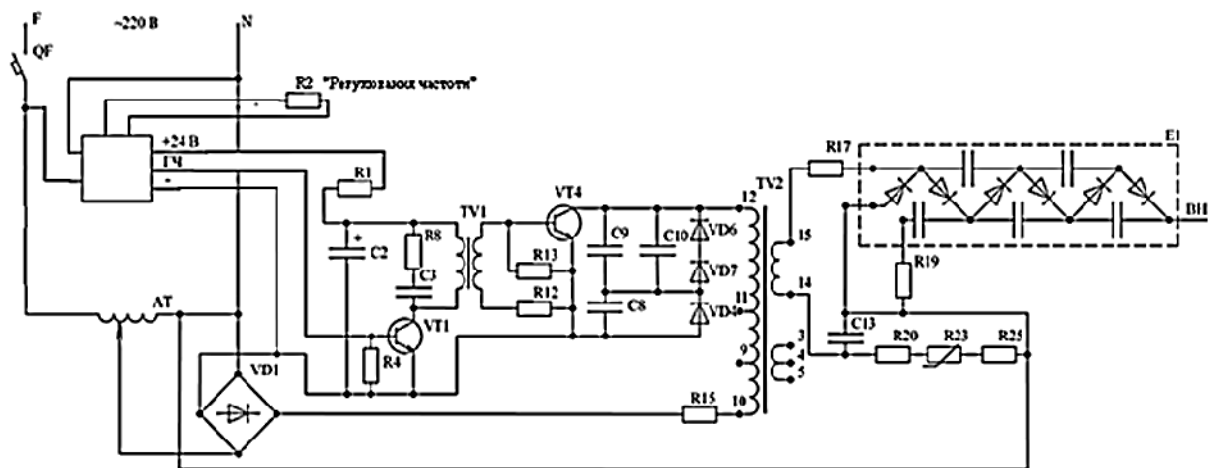


Рис. 1. Принципова схема імпульсного джерела високої напруги

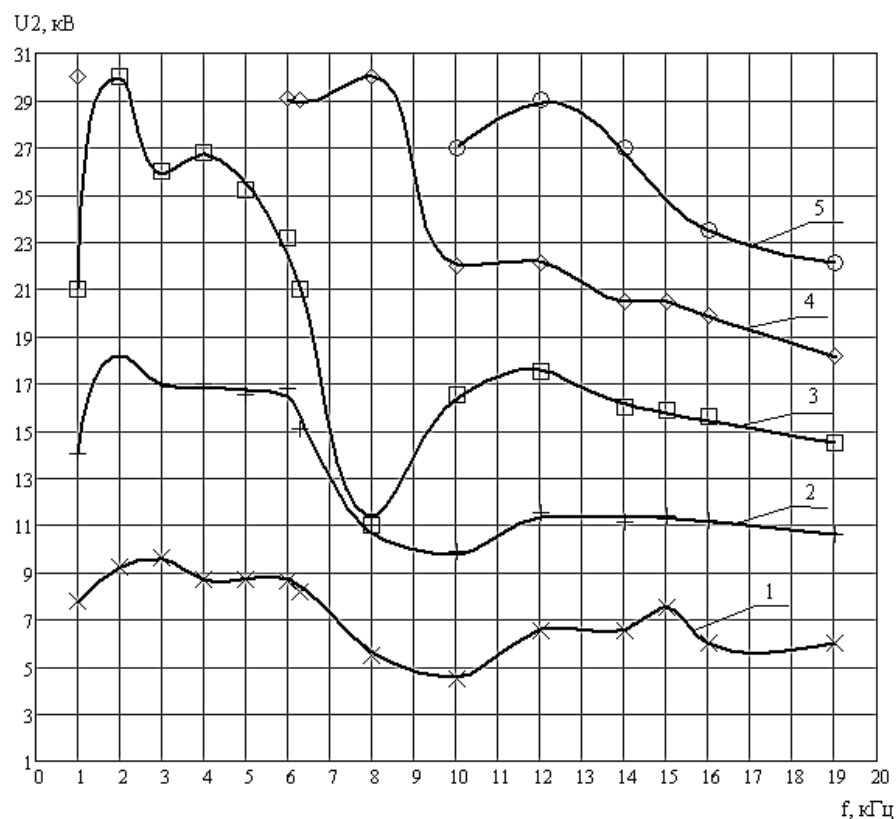


Рис. 2. Залежність вихідної напруги імпульсного джерела живлення від частоти імпульсів керування при напрузі живлення:
1 – 10 В; 2 – 20 В; 3 – 30 В; 4 – 40 В; 5 – 50 В

Як видно з наведеної графічної залежності (див. Рис. 2) максимальних значень напруга холостого ходу набуває при значеннях частоти імпульсів керування 2–6 кГц. При збільшенні частоти імпульсів керування до значення 8–10 кГц напруга холостого ходу зменшується. В діапазоні частот 10–19 кГц напруга холостого ходу знаходиться в одних межах значень.

Відповідно, коефіцієнт трансформації джерела живлення має частотну залежність і його значення змінюється від 400–600 до 900–1000.

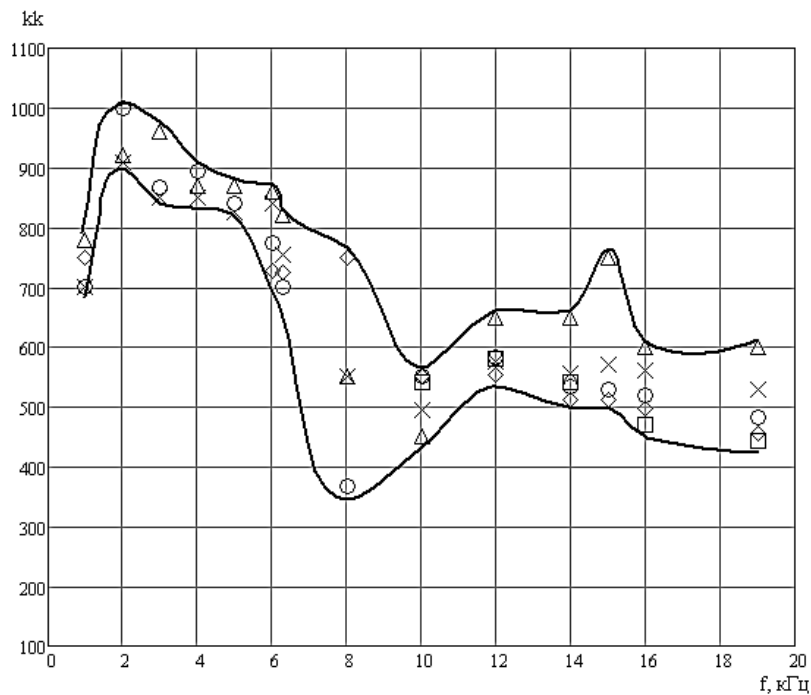


Рис. 3. Залежність коефіцієнта трансформації імпульсного джерела живлення від частоти імпульсів керування при напрузі живлення:
 Δ – 10 В; $\times$ – 20 В; $\circ$ – 30 В; $\diamond$ – 40 В; $\square$ – 50 В

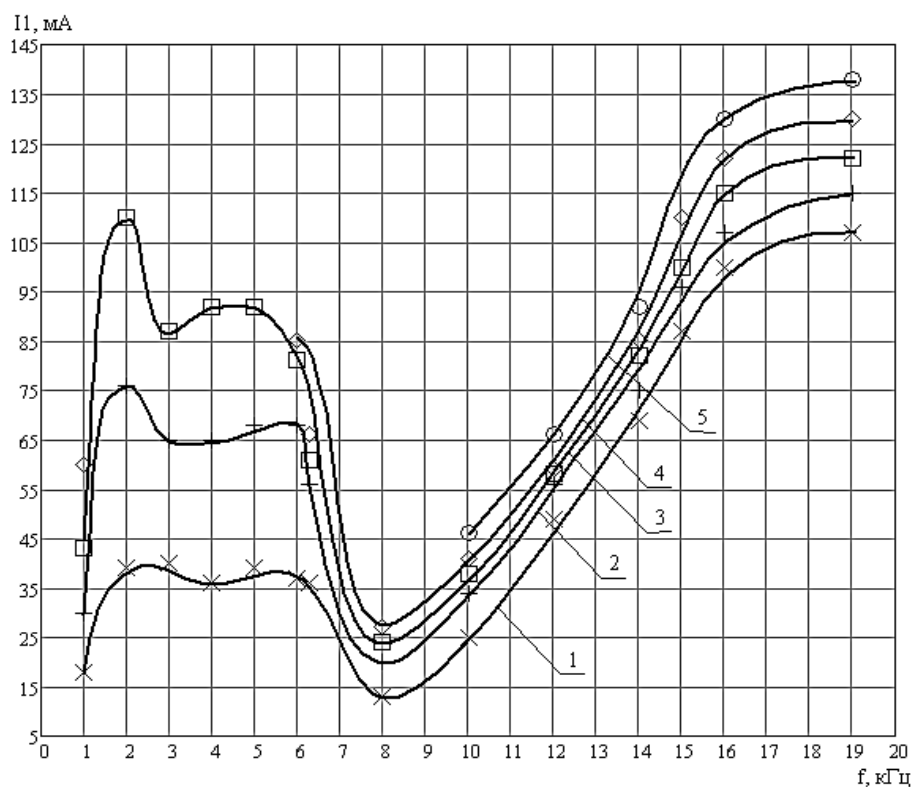


Рис. 4. Залежність струму холостого ходу імпульсного джерела високої напруги від частоти імпульсів керування при напрузі живлення:

1 – 10 В; 2 – 20 В; 3 – 30 В; 4 – 40 В; 5 – 50 В

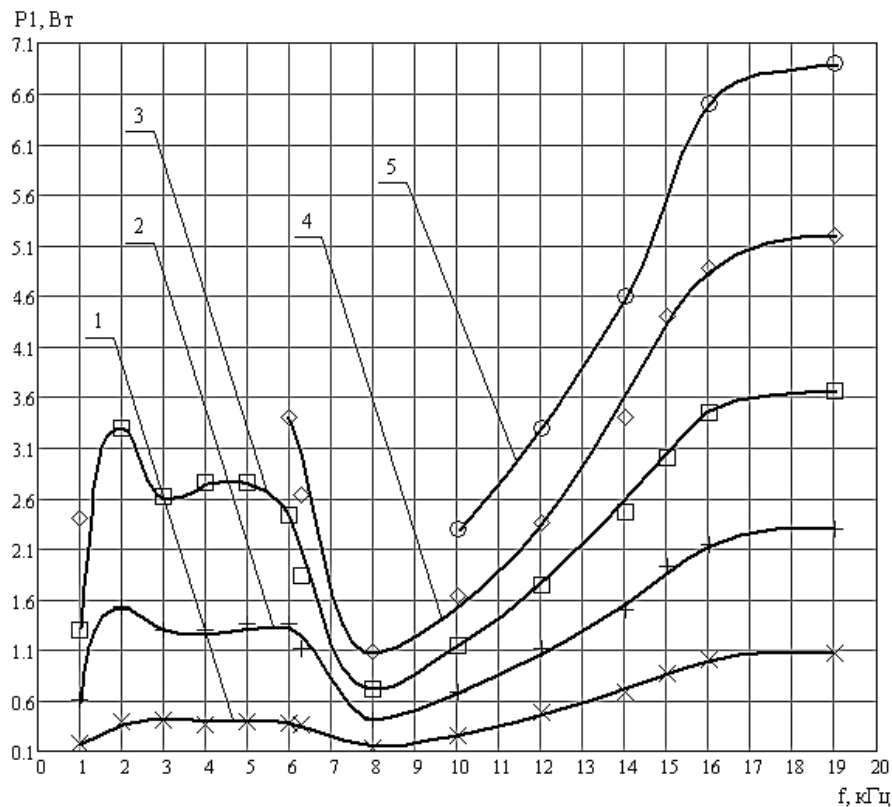


Рис. 5. Залежність споживаної потужності в режимі холостого ходу від частоти імпульсів керування при напрузі живлення:
1 – 10 В; 2 – 20 В; 3 – 30 В; 4 – 40 В; 5 – 50 В

Струм холостого ходу джерела високої напруги також має частотну залежність і його значення може змінюватися в 4–6 раз.

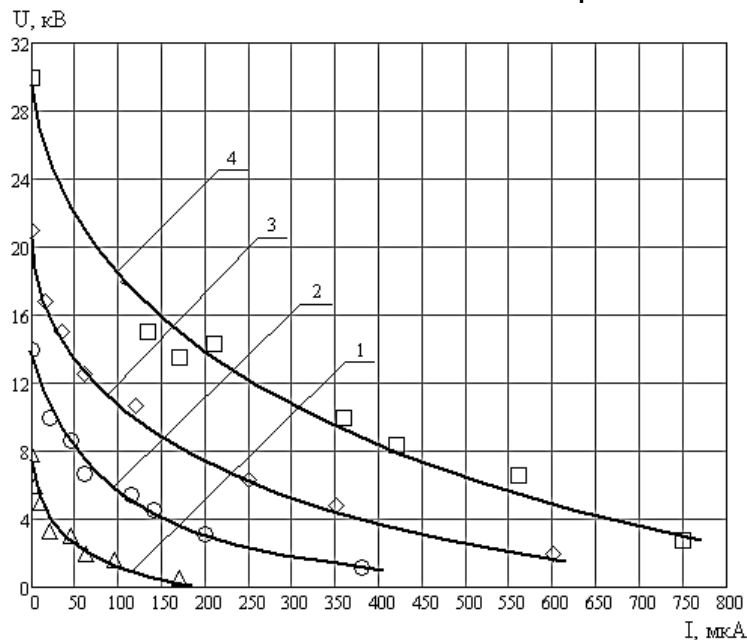


Рис. 6. Навантажувальні характеристики імпульсного джерела високої напруги при частоті імпульсів керування 1 кГц при напрузі живлення: 1 – 10 В; 2 – 20 В; 3 – 30 В; 4 – 40 В

Також проведено дослідження режимів джерела напруги під навантаженням. Як навантаження використовувалася камера обробки з плоско-паралельними електродами, що заповнювалася зерном ячменю сорту «Солнцедар» різної вологості (11,5 %, 12,8 %, 13,5 %, 14 %, 14,8 %, 17 %). Проведено такі варіанти досліджень: камера обробки без діелектричних пластин та допоміжних електродів, камера обробки з діелектричними пластинами без допоміжних електродів, камера обробки з діелектричними пластинами та допоміжними електродами. Результати досліджень наведено на рис. 6 – 9.

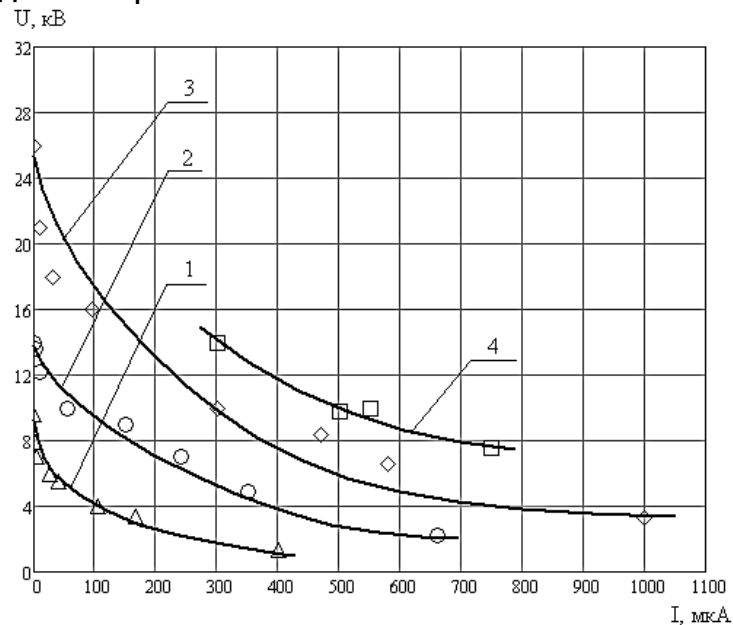


Рис. 7. Навантажувальні характеристики імпульсного джерела високої напруги при частоті імпульсів керування 3 кГц при напрузі живлення: 1 – 10 В; 2 – 20 В; 3 – 30 В; 4 – 40 В

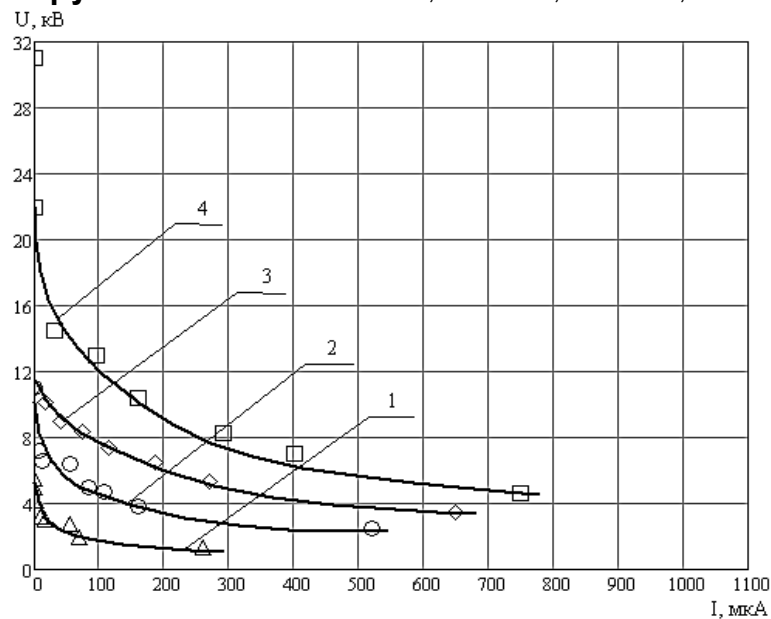


Рис. 8. Навантажувальні характеристики імпульсного джерела високої напруги при частоті імпульсів керування 8 кГц при напрузі живлення: 1 – 10 В; 2 – 20 В; 3 – 30 В; 4 – 40 В

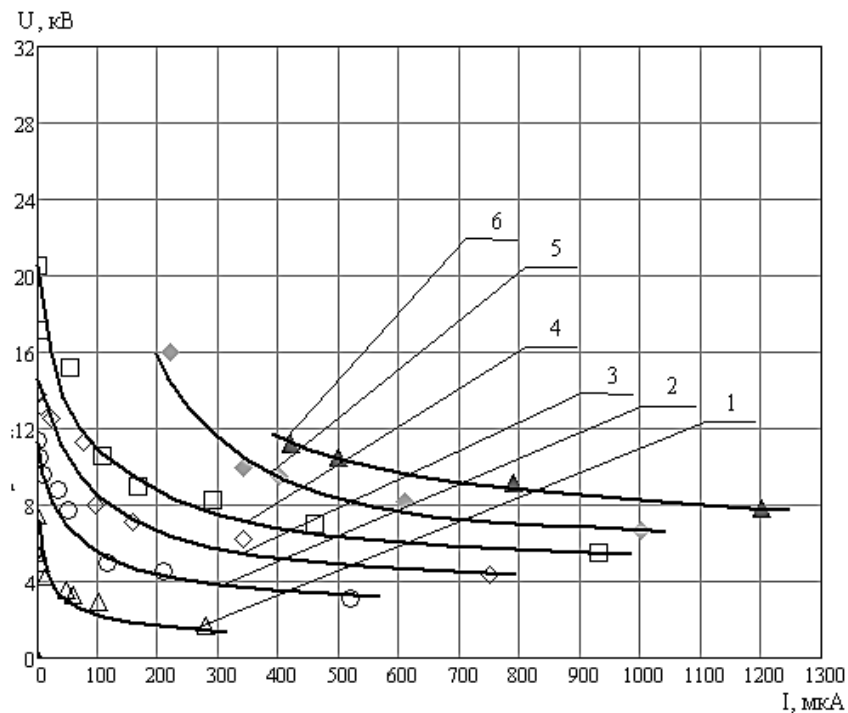


Рис. 9. Навантажувальні характеристики імпульсного джерела високої напруги при частоті імпульсів керування 15 кГц при напрузі живлення: 1 – 10 В; 2 – 20 В; 3 – 30 В; 4 – 40 В; 5 – 50 В; 6 – 60 В

Висновки

Проведено електротехнічні випробування імпульсного джерела високої напруги. Встановлено частотні залежності вихідної напруги та струму холостого ходу.

Напруга холостого ходу досягала максимальних значень при частоті імпульсів керування 2 кГц. Струм холостого ходу в досліді не перевищував 140–150 мА, потужність холостого ходу не перевищувала 7 Вт.

Навантажувальні характеристики є м'якими і близькі до гіперболічних.

Список літератури

1. Берека О.М. Знешкодження в сильних електричних полях комах-шкідників зерна / О.М. Берека, О.В. Науменко //Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – 2011. – Volume 13D. – С. 291–295.
2. Берека О.М. Сильні електричні поля в зерновій галузі рослинництва: монографія / О.М. Берека. – К.: ВЦ НУБіП України, 2011. – 400 с.
3. Электрозерноочистительные машины / [Басов А.М., Изаков Ф.Я., Шмигель В.Н. и др.]. – М.: Машиностроение, 1967. – 201 с.
4. Электротехнология / [Басов А.М., Быков В.Г., Лаптев А.В. и др.]. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

А.И. Чмиль, А.В. Науменко, Д.Ю. Илюхин, А.Д. Мельник

Рассмотрен импульсный источник высокого напряжения. Исследованы характеристики холостого хода импульсного источника высокого напряжения и его нагрузочные характеристики. Установлена частотная зависимость параметров импульсного источника высокого напряжения.

Ключевые слова: зерновая масса, амбарные вредители, сильное электрическое поле, импульсный источник высокого напряжения

ENERGY CHARACTERISTICS OF PULSE HIGH VOLTAGE SOURCE

A. Chmil, A. Naumenko, D. Ilyukhin, A. Melnik

It is considered pulsed high voltage source. It is research the characteristics of the idling pulsed high voltage source and its loading characteristics. Established frequency dependence of parameters of pulsed high voltage source.

Keywords: grain mass, grain insects, high electric field, pulsed high voltage source

УДК 697.1

СИСТЕМА ДОПОМОГИ В ПРИЙНЯТТІ РІШЕНЬ ДЛЯ ЕНЕРГОМЕНЕДЖЕРА ЩОДО ПРОЦЕСІВ СПОЖИВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ БУДІВЛЯМИ

В. І. Литвин, головний інженер

*КП «Група впровадження проекту з енергозбереження в
адміністративних і громадських будівлях м. Києва»*

О.В. Шеліманова, кандидат технічних наук

e-mail: shelemanova@ukr.net

Запропоновано математичні моделі та методи, які дозволяють створювати ефективні системи управління споживанням теплової енергії будівлями.

Ключові слова: енергоменеджмент, автоматичне регулювання споживання теплової енергії, ефективність теплоспоживання

Зі зростанням вартості енергоносіїв, а також їх дефіцитом все більш актуальним стає уникнення перевитрат енергоресурсів, особливо пов'язане зі збоями в роботі обладнання або неефективними діями персоналу. В енергетичному балансі житлових та адміністративних

Рассмотрен импульсный источник высокого напряжения. Исследованы характеристики холостого хода импульсного источника высокого напряжения и его нагрузочные характеристики. Установлена частотная зависимость параметров импульсного источника высокого напряжения.

Ключевые слова: зерновая масса, амбарные вредители, сильное электрическое поле, импульсный источник высокого напряжения

ENERGY CHARACTERISTICS OF PULSE HIGH VOLTAGE SOURCE

A. Chmil, A. Naumenko, D. Ilyukhin, A. Melnik

It is considered pulsed high voltage source. It is research the characteristics of the idling pulsed high voltage source and its loading characteristics. Established frequency dependence of parameters of pulsed high voltage source.

Keywords: grain mass, grain insects, high electric field, pulsed high voltage source

УДК 697.1

СИСТЕМА ДОПОМОГИ В ПРИЙНЯТТІ РІШЕНЬ ДЛЯ ЕНЕРГОМЕНЕДЖЕРА ЩОДО ПРОЦЕСІВ СПОЖИВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ БУДІВЛЯМИ

В. І. Литвин, головний інженер

**КП «Група впровадження проекту з енергозбереження в
адміністративних і громадських будівлях м. Києва»**

О.В. Шеліманова, кандидат технічних наук

e-mail: shelemanova@ukr.net

Запропоновано математичні моделі та методи, які дозволяють створювати ефективні системи управління споживанням теплової енергії будівлями.

Ключові слова: енергоменеджмент, автоматичне регулювання споживання теплової енергії, ефективність теплоспоживання

Зі зростанням вартості енергоносіїв, а також їх дефіцитом все більш актуальним стає уникнення перевитрат енергоресурсів, особливо пов'язане зі збоями в роботі обладнання або неефективними діями персоналу. В енергетичному балансі житлових та адміністративних

будівель найбільшу частку (більше 70 %) займають системи підтримання мікроклімату, в Україні – це насамперед опалення. При цьому, якщо декілька десятиліть назад впливати на режими споживання теплової енергії в системах централізованого тепlopостачання можна було лише на джерелі теплової енергії (рідше в центральних теплових пунктах) шляхом зміни температури теплоносія, а з доступних споживачу методів залишалася лише відкрита квартира чи вікно. В останні роки ситуація кардинально змінюється зі впровадженнями в нових та реконструйованих будівлях індивідуальних теплових пунктів та регуляторів температури в середині приміщень, що дозволяють налаштувати режим споживання індивідуально для кожного будинку (з врахуванням часу роботи та зовнішньої температури), а часто навіть для кожного приміщення.

У той же час ускладнення систем регулювання та вплив на нього так званого «людського фактора» значно ускладнили процес контролю за ефективністю споживання теплової енергії. Спеціаліст, відповідальний за ефективність теплоспоживання (енергоменеджер), однієї-двох будівель, за наявності значного досвіду та розуміння процесів, що відбуваються, може достатньо ефективно керувати процесами та виявляти нештатні ситуації. За умови, що кількість таких будівель збільшується, або за відсутності достатнього досвіду у енергоменеджмента процес контролю значно ускладнюється і не може бути здійснений без автоматизованих систем.

Мета досліджень – розробка методології та алгоритмів аналізу ефективності теплоспоживання на рівні окремого будинку.

Матеріали та методика досліджень. Нині в європейській та вітчизняній практиці використовують два основні підходи для визначення ефективності теплоспоживання:

- 1) розрахунок теплових характеристик на основі інформації про огорожувальні конструкції та інженерні системи;
- 2) використання простих статистичних залежностей теплоспоживання від температури.

До недоліків першого методу належать складність та значна вартість виконання подібних розрахунків (особливо при збиранні вихідної інформації про будівлю за умови, що проектна документація відсутня або була проведена реконструкція), а використання спрощених методів призводить до значної похибки в результатах, особливо при аналізі коротких часових інтервалів (про достатню точність можна говорити лише за умови аналізу часових інтервалів, довших за місяць, а це в свою чергу не дозволяє оперативно реагувати на ситуацію).

Метод оснований на аналізі статистичних даних та залежності теплоспоживання від кількості градусо-днів достатньо простий для використання, але передбачає лінійність залежності між зазначеними показниками. Але в реальних умовах зазначена залежність є лінійною, особливо за умови дефіциту теплової енергії (як правило це виражається в зниженні температурного графіка теплових мереж в порівнянні з

проектним) та використання єдиного вузла обліку на потреби опалення та гарячого водопостачання.

Одним із показових прикладів складності застосування зазначених підходів став аналіз теплоспоживання закладів бюджетної сфери м. Києва, що були оснащені індивідуальними тепловими пунктами (більше 1100 будівель). Зокрема були виявлені такі проблеми.

1. Відсутність чи неповнота проектної документації, що не дозволяло в ряді випадків без проведення замірів визначити навіть опалювальну площу чи об'єм будівель, не кажучи вже про площі стін, вікон та дверей з розбивкою по сторонах світу та коефіцієнтах теплопередачі, як цього вимагають методології з визначення теплових характеристик будівель, зокрема ДБН «Теплова ізоляція».

2. Режими теплоспоживання закладів, навіть побудованих за одним проектом, часто значно відрізнялися, причиною чого могли бути як різні джерела тепlopостачання, так і різна поведінка персоналу та відвідувачів.

3. Відсутність вузлів обліку теплової енергії до впровадження систем регулювання, що не дозволяло побудувати адекватну статистичну модель теплоспоживання закладу.

4. Використання загального вузла обліку на потреби опалення та гарячого водопостачання та двоступеневої схеми підігріву гарячої води, що значно ускладнило виокремлення споживання на потреби опалення та гарячого водопостачання.

5. Велика кількість об'єктів, що унеможливило «ручний» аналіз із інтервалом навіть один раз на місяць обмеженою кількістю людей (до 3 – 5 спеціалістів з моніторингу на 1000 будівель).

6. Відсутність достатнього досвіду та розуміння режимів теплоспоживання технічними спеціалістами на об'єктах та в структурних підрозділах адміністрацій. При цьому енергоменеджери на місцях, як правило, мали значну кількість додаткових обов'язків, що не дозволяло приділяти достатньо часу аналізу теплоспоживання.

7. Використання систем дистанційного збору, що дозволили отримувати показники теплоспоживання з інтервалом 1 раз на годину та частіше, створили значний додатковий масив інформації, що потребував нових підходів та додаткового часу для аналізу.

Необхідність вирішення зазначених проблем дозволила напрацювати значний масив інформації та розробити підходи до аналізу даних та оперативного реагування на відхилення, що можуть бути використані в населених пунктах з системами централізованого опалення. Також розповсюдження зазначених підходів дозволить значно спростити процес планування та впровадження систем будинкового регулювання теплоспоживання, що за існуючих умов є одним з найефективніших заходів.

Результати досліджень. Були поставлені такі задачі.

1. Побудова типових графіків споживання теплової енергії будівлями для різних часових інтервалів (рік, квартал, місяці, тиждень),

що виявило основні особливості теплоспоживання адміністративних та громадських будівель. Це дозволило проводити аналіз теплоспоживання навіть будівель, по яких були відсутні статистичні дані за рахунок використання (на першому етапі) графіків теплоспоживання для однотипних (за результатами класифікації) будівель. Слід зазначити, що класифікація лише за будівельними серіями не дала достатньої точності, тому що в силу ряду причин «однотипні» будинки мали графіки теплоспоживання, що сильно відрізнялися. Виявлені на зазначеному етапі залежності дозволили сформувати набори параметрів для побудови моделей теплоспоживання будівель.

2. Розробка методики побудови моделі теплоспоживання будівель, основаної на статистичних даних, що могла б враховувати значну кількість впливових параметрів та «самоналаштовуватися» по мірі надходження нової інформації.

3. Створення алгоритму експрес-аналізу, що дозволив би без проведення детального енергоаудиту, маючи інформацію за результатами впровадження заходів на подібних об'єктах, визначити будівлі, що потребують першочергового впровадження.

4. Створення інформаційної системи, що дозволяла б збирати, аналізувати інформацію про енергоспоживання (в тому числі теплоспоживання), характеристики будівель та допомагати енергоменеджеру вчасно виявляти відхилення та уникати перевитрат енергетичних ресурсів.

Узагальнена структура системи енергоменеджменту наведена на рисунку 1 (пунктиром показані блоки в яких задіяна система моніторингу).

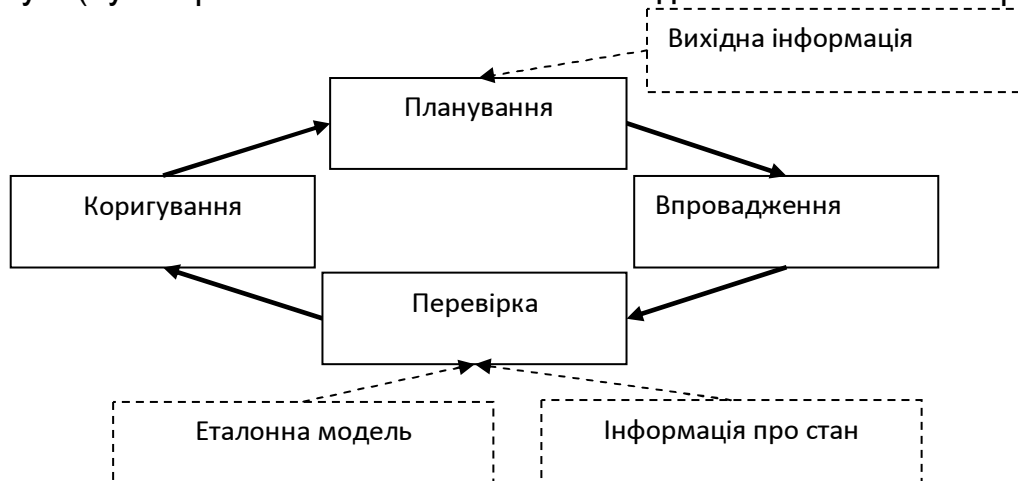


Рис. 1. Схема функціонування системи енергетичного менеджменту та місце запропонованої системи моніторингу теплоспоживання

Основні характеристики бюджетних закладів як споживачів теплової енергії наведено в табл. 1, а блочна схема системи моніторингу режимів теплоспоживання – на рис.2.

Запропонована та реалізована в програмному продукті система моніторингу енергоспоживання дозволила об'єднати в єдине ціле потоки збору даних про енергоспоживання (ручні та автоматизовані), інформацію

про об'єкти, блоки аналізу даних, і саме головне створила середовище для комунікації енергоменеджерів різних рівнів, аналізу та накопичення даних для подальшого удосконалення.

1. Основні характеристики бюджетних закладів залежно від режимів теплоспоживання

Назва підмножини	Режим роботи			Основні споживачі ПЕР
	Річний	Тижневий, днів	Добовий, год	
Дитячі заклади	Весь рік, зменшується кількість відвідувачів у літній період	5	8	Системи опалення, системи освітлення, кухня
Школи	Весь рік з перервами на канікули	5	7-8	Системи опалення, системи освітлення, кухня, комп'ютерна техніка
Лікувальні заклади (поліклініки)	Весь рік	6-7	12	Системи опалення, системи освітлення, лабораторне та лікувальне обладнання, офісна та комп'ютерна техніка
Лікувальні заклади (лікарні)	Весь рік	7	24	Системи опалення, системи освітлення, лабораторне та лікувальне обладнання, офісна та комп'ютерна техніка
Адміністративні будівлі	Весь рік	5	8	Системи опалення, системи освітлення, офісна комп'ютерна техніка

Для групування об'єктів залежно від режимів споживання теплової енергії з подальшою побудовою типових графіків, а також для експрес-аналізу ефективності впровадження заходів були використані нейронні мережі Кохонена (рис.3), що мають такі переваги:

- можливість навчання «без вчителя» на основі множини вхідних даних з автоматичним групуванням об'єктів;
- динамічне формування «класів».

У табл. 2 наведено характеристики підгруп, на які поділені освітні заклади залежно від ефективності впровадження енергоефективних заходів в результаті класифікації із застосуванням нейронних мереж Кохонена. Після сортування групи об'єктів, на яких планується подальше впровадження енергозберігаючих заходів, результати експрес-оцінки зводимо в табл. 3.

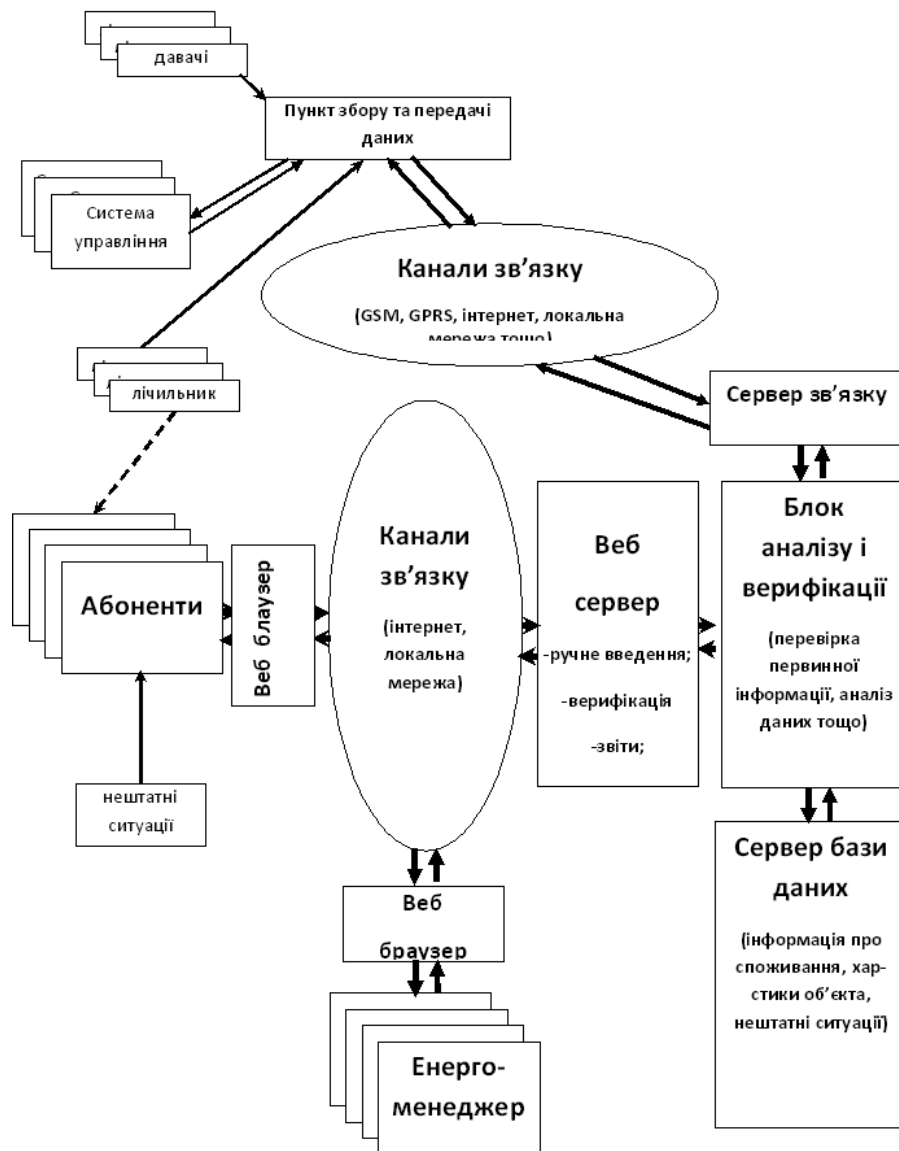


Рис. 2. Функціональні блоки системи моніторингу режимів теплоспоживання

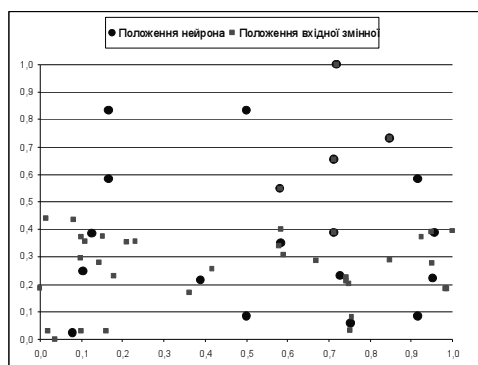


Рис.3. Графічне відображення групування об'єктів відповідно до договірної теплової навантаження з використанням нейронних мереж Кохонена

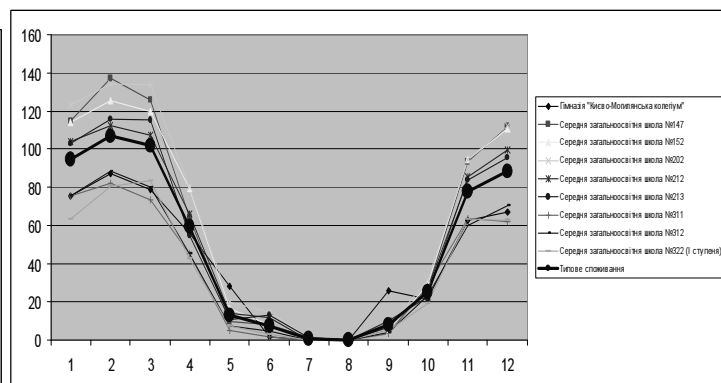


Рис. 4. Приклад річного типового графіка теплоспоживання і графіки фактичного споживання теплової енергії загальноосвітніми навчальними закладами

2.Характеристики підгруп споживачів теплової енергії

№ групи	Середня площа	Середнє річне споживання енергоресурсів, Гкал	Середня економія ПЕР після впровадження ЕЗЗ, %	Примітка
1	2131	741	31	—
2	2668	1415	58	Першочергове впровадження
3	3757	1058	32	—
...	...	...	...	...
7	665	298	-32	Занижене споживання

3.Результати експрес-оцінки

№ об'єкта	Назва	№ групи	Орієнтовна економія ПЕР після впровадження ЕЗЗ, %	Примітка
1	ДНЗ № 10	7	32	Сумнівне подальше зниження споживання
2	ДНЗ № 17	1	31	—
3	ДНЗ № 51	6	34	—
...	...	...	...	...
46	ДНЗ № 716	6	34	—

Для побудови моделі теплоспоживання для різних часових інтервалів була вибрана нечітка нейронна мережа. Серед основних її переваг слід відзначити:

- швидкість навчання за рахунок комбінації лінійних та нелінійних елементів;
- можливість побудови нелінійних моделей;
- можливість врахування значної кількості вхідних змінних;
- можливість адаптації по мірі надходження нових даних.

Результати моделювання теплоспоживання будівлі за допомогою нечіткої нейронної мережі наведено на рис. 4 – 6.

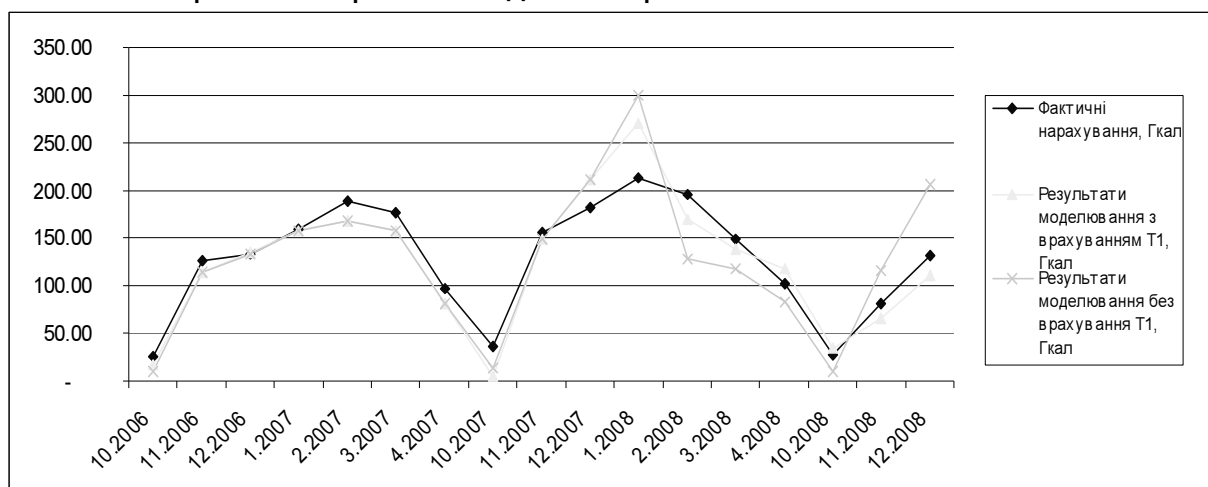


Рис. 5. Порівняння фактичного теплоспоживання з результатами моделювання для різних вхідних змінних

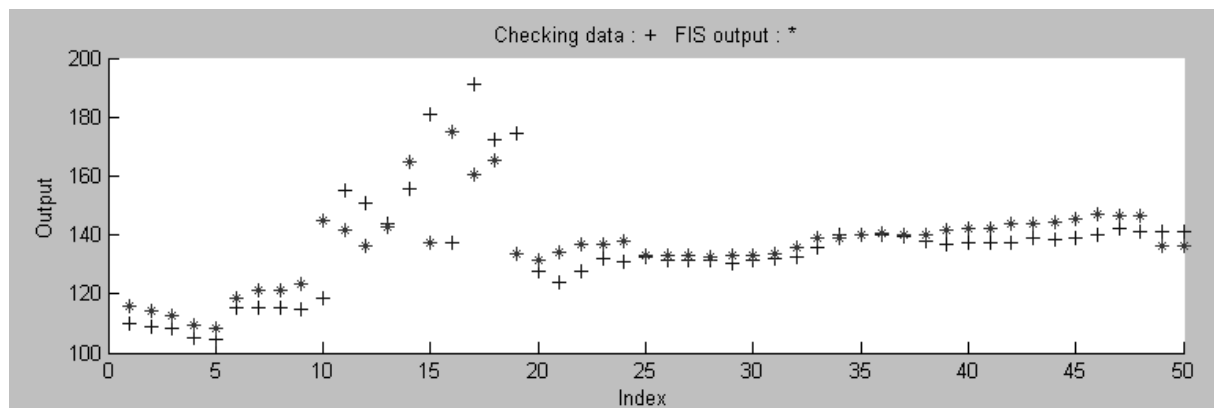


Рис. 6. Порівняння фактичного теплоспоживання з результатами моделювання

Висновки

Питання аналізу ефективності споживання теплової енергії будівлями набуло особливого значення після встановлення систем автоматичного регулювання теплоспоживання для окремої будівлі чи приміщення.

Розроблені підходи дозволяють створювати ефективні системи управління енерговикористанням за різного початкового стану таких систем та поступово нарощувати функціонал та точність.

Запропоновані математичні моделі та методи дозволи швидко та з мінімальним залученням висококваліфікованих працівників проводити аналіз та робити висновки про ефективність теплоспоживання для часових інтервалів від 1 год до місяця.

Список літератури

1. Литвин В.І. Моніторинг режимів теплоспоживання об'єктів бюджетної сфери / В.І. Литвин, В.Ю. Гирич // Будівництво України. – 2009. – №6. – С. 30–33.
2. Литвин В. І. Побудова моделі споживання теплової енергії адміністративних і громадських будівель м. Києва з використанням адаптивних нечітких нейронних мереж // Енергетика і електрифікація. – 2007. – №12. – С. 68.
3. Литвин В. І. Экспресс-оценка эффективности внедрения мероприятий по энергосбережению [Электронный ресурс] / В. И. Литвин// Проблемы региональной энергетики. – Академия наук республики Молдова. Институт энергетики. – 2012. – №3(20). – Режим доступа: http://ieasm.webart.md/data/m71_2_221.doc
4. Розен В.П. Использование нейронной сети Кохонена для построения типовых графиков потребления энергии общественными и административными зданиями / В.П. Розен, В.И. Литвин // Экономическая безопасность государства и интеграционные формы ее обеспечения / под ред. Г.К. Вороновского, И.В. Недина. – К.: Знання України, 2007. – С. 365–368.
5. Розен В.П. Моніторинг режимів теплоспоживання об'єктів бюджетної сфери / В.П. Розен, В.І. Литвин// Економічна безпека держави і науково-технологічні аспекти її забезпечення: праці 1-го науково-практичного семінару з

міжнародною участю, 21-22 жовтня 2009 р. – Видавець Ю.А. Чабаненко, 2009. – С. 386–391.

6. . Розен В.П. Системи моніторингу енергозберігаючих проектів / В.П. Розен, Є.М. Іншеков, В.І. Литвин // Реконструкція житла.– 2009. – Вип. 11. – С. 179–186.

СИСТЕМА ПОМОЩИ В ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЭНЕРГОМЕНЕДЖЕРОВ ПО ПРОЦЕССАМ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЗДАНИЯМИ

В. И. Литвин, Е.В. Шелиманова

Предложены математические модели и методы, которые позволяют создавать эффективные системы управления потреблением тепловой энергии зданиями.

Ключевые слова: энергоменеджмент, автоматическое регулирование потребления тепловой энергии, эффективность теплоснабжения

SYSTEM DECISION SUPPORT FOR ENERGY MANAGERS ON THE PROCESS OF HEAT CONSUMPTION OF THE BUILDING

V.Lytvyn, O. Shelimanova

Mathematical models and methods which allow to create effective system of heat energy consumption buildings.

Keywords: energy management,, automatic heat consumption, heat consumption efficiency

УДК 621.313.33

АСИНХРОННИЙ ДВИГУН ЯК ОСНОВНИЙ ЕЛЕМЕНТ НАВАНТАЖЕННЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

***С. С. Макаревич, кандидат технічних наук
e-mail: birma@ukr.net***

Проведено аналіз впливу асинхронного двигуна на асинхронний генератор сумірної потужності автономної системи електроживлення (АСЕЖ).

Ключові слова: автономна система електроживлення, автономний асинхронний генератор, асинхронний двигун сумірної потужності

© С. С. Макаревич, 2015

міжнародною участю, 21-22 жовтня 2009 р. – Видавець Ю.А. Чабаненко, 2009. – С. 386–391.

6. . Розен В.П. Системи моніторингу енергозберігаючих проектів / В.П. Розен, Є.М. Іншеков, В.І. Литвин // Реконструкція житла.– 2009. – Вип. 11. – С. 179–186.

СИСТЕМА ПОМОЩИ В ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЭНЕРГОМЕНЕДЖЕРОВ ПО ПРОЦЕССАМ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЗДАНИЯМИ

В. И. Литвин, Е.В. Шелиманова

Предложены математические модели и методы, которые позволяют создавать эффективные системы управления потреблением тепловой энергии зданиями.

Ключевые слова: энергоменеджмент, автоматическое регулирование потребления тепловой энергии, эффективность теплоснабжения

SYSTEM DECISION SUPPORT FOR ENERGY MANAGERS ON THE PROCESS OF HEAT CONSUMPTION OF THE BUILDING

V.Lytvyn, O. Shelimanova

Mathematical models and methods which allow to create effective system of heat energy consumption buildings.

Keywords: energy management,, automatic heat consumption, heat consumption efficiency

УДК 621.313.33

АСИНХРОННИЙ ДВИГУН ЯК ОСНОВНИЙ ЕЛЕМЕНТ НАВАНТАЖЕННЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

***С. С. Макаревич, кандидат технічних наук
e-mail: birma@ukr.net***

Проведено аналіз впливу асинхронного двигуна на асинхронний генератор сумірної потужності автономної системи електроживлення (АСЕЖ).

Ключові слова: автономна система електроживлення, автономний асинхронний генератор, асинхронний двигун сумірної потужності

© С. С. Макаревич, 2015

Автономні системи електроживлення призначені для забезпечення будь-яких споживачів як симетричних, так і несиметричних, з лінійними і нелінійними характеристиками при статичному і динамічному навантаженнях.

Мета досліджень – вивчення впливу асинхронного двигуна як основного електричного навантаження АСЕЖ.

Матеріали та методика досліджень. Найважчим режимом для автономної системи електроживлення є процес пуску від нього асинхронного короткозамкнутого двигуна. При зміні ковзання двигуна у процесі пуску від $S=1$ до навантажувального S_n відбувається значна зміна величини пускового опору і коефіцієнта потужності у процесі розгону двигуна. Особливо різка зміна опору відбувається при $S=1$ (мінімальний опір Z_d) та $S=0,2...0,1$ при включенні паралельно двигуну конденсатора для збудження машин в автономній системі. Сумарний опір визначається як

$$Z = \frac{-jx_c}{Z_n - jx_c}, \quad (1)$$

де $Z_n = Z_d$ – опір навантаження, x_c – опір ємності.

Опір системи двигун – конденсатор змінюється ще більш різко як за величиною, так і характером.

В автономному електромеханічному комплексі процес пуску двигуна задає режим роботи генератора. При цьому у системі двигун-генератор спільна напруга, робочий струм (у двигуна з урахуванням конденсаторів), єдина частота, але змінюється опір двигуна з конденсаторами, його характер, що створюють важкі умови як для генератора, так і для самого двигуна. Тобто змінюється напруга, механічна характеристика двигуна, частота, струми і т.д. Для забезпечення надійного розгону двигуна генератор повинен створювати у процесі пуску момент, що перевищує момент навантаження не менше, ніж на 10–15 %, що відповідає ковзанню навантаження S_n при $S' = S_n + 0,01$.

В усталеному режимі моменти двигуна і навантаження повинні бути врівноважені. Напруга генератора і момент двигуна різко падають при першому накиді, під час розгону двигуна вони дещо збільшуються., але в діапазоні при $S=0,2...0,1$ відбувається другий накид зниження напруги і провал у механічній характеристиці. При задовільному розгоні двигуна механічна характеристика не повинна потрапляти у провал механічної характеристики навантаження двигуна.

Для цього необхідно виключити провал шляхом впливу на пусковий режим двигуна та його характеристики.

При розрахунках характеристики генератора приймається його основний енергетичний параметр: основна ЕРС E_1 обмоток статора. Навантаження характеризується його опором Z_n або з урахуванням

опору ємності $Z = \frac{-jx_c}{Z_n - jx_c}$. При роботі генератора на двигун опір навантаження замінюється на опір двигуна $Z_n = Z_d$.

Методика розрахунку характеристик генератора аналогічна розрахунку на статичне навантаження [2]. При цьому, сумісна робота генератора і двигуна у комплексі має свої особливості: двигун вносить елементи новизни у розрахунки характеристик при їх сумісній роботі. У загальному випадку приймаємо компенсований асинхронний генератор при роботі на компенсований асинхронний двигун сумірної потужності. Внутрішня ємнісна компенсація генератора підвищує величину його напруги, рівень стабілізації напруги при зміні навантаження. В компенсованому асинхронному двигуні підвищується пусковий момент, знижуються робочі струми. Зовнішня ємнісна компенсація як генератора, так і двигуна призводить до максимального наближення величин базових потужностей при задовільному пуску у процесі розгону двигуна. Найгірший варіант прийняття генератора і двигуна на базі серійних машин.

Результати досліджень. Як приклад розрахунків прийняті компенсований асинхронний генератор на базі серійного двигуна 4A71B2 номінальною потужністю 1,1 кВт і компенсований асинхронний двигун на базі серійного 4A71A2 потужністю 0,75 кВт. Вибір обґрунтовано необхідністю порівняння прийнятої АСЕЖ із класичною системою, що складається із синхронного генератора та асинхронного двигуна. Задовільний режим пуску класичної АСЕЖ при чотири – п'ятикратному форсуванню збудження генератора забезпечує співвідношення потужностей двигуна і генератора, що дорівнює 0,7 [3].

Методика розрахунку характеристик генератора приймається по [2]. Наведемо методику розрахунку характеристик двигуна в складі АСЕЖ.

Для розрахунку характеристики генератора при роботі його на статичне навантаження враховано зміну опору x_m намагнічуючого контуру при зміні його навантаження і параметрів генератора, а також використано типову криву намагнічення базової асинхронної машини [2]. Крива намагнічення як базова може бути використана і для розрахунку характеристик двигуна, але у генератора основним енергетичним параметром є ЕРС, що залежить від режимів намагнічування $E_1 = f(x_m)$. У процесі зміни навантаження режим намагнічення генератора різко змінюється (x_m – змінна). У двигуна основним енергетичним параметром є напруга, що прикладена від генератора. Напруга перешкоджає намагнічуванню двигуна, бо магнітний потік пропорційний напрямку магнітного потоку $F = \frac{U}{4.44 f W k_1}$ при зміні навантаження двигуна, а опір x_{mg} , намагнічуючого контуру змінюється менше, ніж генератора і попередньо прийнятий постійним, що відповідає номінальному опору

намагнічуючого контуру x_m базової машини (в подальшому враховується зміна x_{mg} із врахуванням кривої намагнічування).

В АСЕЖ режими роботи генератора і двигуна взаємозалежні, тому розрахунки їх ведуть спільно. Для генератора опором навантаження є розрахункове значення опору двигуна Z_δ з урахуванням опору ємності С

($x_c = \frac{1}{\omega_1 C}$) (залежить від схеми, модифікації, параметрів і ковзання двигуна). Опір двигуна при заданому ковзанні S_δ у процесі розгону відповідно до схеми (рис. 1) при роботі його від УКААГ визначається так:

$$Z_\delta = Z_{1\delta} + \frac{jx_{m\delta} \cdot Z_{2\delta}}{Z_{2\delta} + x_{m\delta}}; \quad Z_{2\delta} = \frac{r_2}{S} + jx_2. \quad (2)$$

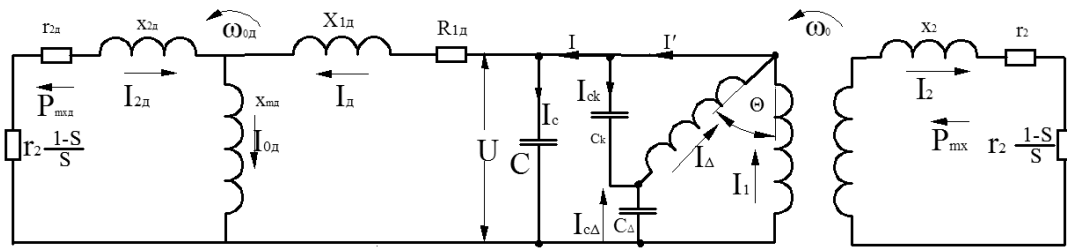


Рис. 1. Принципова електрична схема АСЕЖ: узагальнений компенсований автономний асинхронний генератор (УКААГ) і асинхронний двигун (АД)

Загальний опір двигуна з паралельним ємнісним x_c опором визначається за формулою:

$$Z = \frac{-jx_c Z_\delta}{Z_\delta - jx_c} = r + jx; \quad r = \frac{x_c^2 r_\delta}{r_\delta^2 + (x_\delta - x_c)^2}; \quad x = -x_c \frac{r_\delta^2 - x_\delta x_c + x_\delta^2}{r_\delta^2 + (x_\delta - x_c)^2}, \quad (3)$$

де x_c може бути постійним, а Z_δ є змінним і залежить від ковзання S_δ двигуна і частково від $x_{m\delta}$ - опору намагнічуючого контуру двигуна.

Повний опір фази серійного асинхронного двигуна визначається так:

$$Z_\delta = Z_{10} + Z_s = \frac{\dot{U}}{\dot{I}_\delta} \quad \text{де} \quad Z_{10} = R_{10} + jX_{10} \quad - \text{власний опір обмотки статора [4];}$$

$$Z_s = \frac{jx_{m\delta} Z_2}{Z_2 + jx_{m\delta}} \quad - \text{опір кола ротора відносно ЕРС } E_2, \quad I_\delta \quad - \text{повний струм}$$

кола статора, $\dot{U}$ – робоча напруга обмотки статора. Опір Z_s входить у формули для параметричних коефіцієнтів $\gamma, \Delta = \varphi(Z_s)$ компенсованих двигунів (КАД, УКАД) і їх повних опорів Z_δ , які визначаються за формулами:

$$\text{для КАД } Z_\delta = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{1}{\gamma + \Delta} \quad \text{при} \quad \dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_\Delta; \quad \dot{I}_1 = \gamma \dot{U}; \quad \dot{I}_\Delta = \Delta \dot{U};$$

для УКАД $Z_{\partial} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}_{\partial}}$ при $\dot{I}_{\partial} = \dot{I}_1 + \dot{I}_{\Delta} + \dot{I}_{ck}$; $\dot{I}_1 = \gamma \dot{U}$; $\dot{I}_{\Delta} = \Delta \dot{U}$,

$$\dot{I}_{ck} = \frac{j\dot{U}}{x_{ck}} \left[(1 - \gamma Z_1 - jx_1 \cos \Theta \cdot \Delta) e^{j\Theta} + \Delta Z_1 + jx_1 \cos \Theta \cdot \gamma \right]. \quad (4)$$

Зміна ковзання S_{∂} в межах $S'_n \leq S_{\partial} \leq 1$ при розгоні АД значно впливає на опір $Z_{2\partial} = \frac{r_{2\partial}}{S_{\partial}} + jx_{2\partial}$, $Z_s = \frac{jx_{m\partial}Z_2}{Z_2 + jx_{m\partial}}$ і повний опір двигуна $Z_{\partial} = r_{\partial} + jx_{\partial}$, що відображається кривими залежності r_{∂} , x_{∂} , $\cos \varphi_{\partial} = f(S_{\partial})$. Характер зміни цих опорів при розгоні двигуна 4A71A2 з ємнісним опором x_c ($x_c = 50; 100$ Ом) наведений на рис. 2

Опір $x_{m\partial}$ контуру намагнічування АД відповідно до кривої намагнічування АМ $E = \varphi(x_m)$ змінюється у широкому діапазоні і залежить від ЕРС (див. рис. 2). З рівняння електричної рівноваги $\dot{U} = -\dot{E}_1 + \dot{I}_{1\partial}Z_{1\partial}$ очевидно, що ЕРС E залежить від струму навантаження $\dot{I}_{1\partial}$, тобто від ковзання S_{∂} двигуна. У режимі двигуна при $0 \leq S_{\partial} \leq 1$ ЕРС $E_1 < U$ менше напруги, тому при $U = 220$ В при навантаженні $E < E_0 = U_n$ (E_0 – ЕРС ідеального холостого ходу), якій відповідає $x_{m\partial 0}$ (для АД 4A71A2 $x_{m\partial 0} = 337,2$ Ом). Опір $x_{m\partial} > x_{m\partial 0}$ при пуску і розгоні АД до номінального ковзання $S_{\partial n}$ відповідно до кривої намагнічування (див. рис. 2) змінюється у діапазоні 580 – 400 Ом. Опір $x_{m\partial}$ значний за величиною, включений паралельно з опором $Z_{2\partial} = \frac{r_{2\partial}}{S_{\partial}} + jx_{2\partial}$ кола ротора (див. рис. 1) несуттєво впливає (особливо при $S_{\partial k} \leq S_{\partial} \leq 1$) на загальний опір навантаження АД, відповідно на його ЕРС і струм, тому значення його приймається постійним. При розгоні АД 4A71A2 $x_{m\partial} = 550 - 580$ Ом (див. рис. 2) у діапазоні зміни ковзання від пускового $S_{\partial n} = 1$ до критичного $S_{\partial k}$, а при $S_{\partial} < S_{\partial k}$ $x_{m\partial} = 450 \div 480$ Ом. Залежно від заданого ковзання $x_{m\partial}$ асинхронного двигуна попередньо приймається у межах 580 – 450 Ом при роботі у складі автономного електромеханічного комплексу. У процесі розрахунку величина $x_{m\partial} = \psi(S_{\partial})$ уточнюється згідно з прийнятим методом послідовних наближень.

Приймається загальна методика розрахунку з її особливостями для КААГ з додатковим ємнісним намагнічуванням (див. рис. 1).

Після визначення для заданих Z_{∂} , x_c , $x_{c\Delta}$, x_{ck} електричних величин генератора (основної ЕРС E_1 , струмів $\dot{I}_1, \dot{I}_{\Delta}, \dot{I}_2, \dot{I}_0$, напруги $\dot{U}_1$ та ін.) знаходять струми двигуна $\dot{I}_{1\partial} = \dot{I}_1 + \dot{I}_{\Delta} - \dot{I}_{ck} - \dot{I}_c$, струм ротора

$$I_{2\partial} = \frac{\dot{E}_{2\partial}}{\frac{r_{2\partial}}{S_{\partial}} + jx_{2\partial}}, \quad \text{де} \quad \dot{E}_{2\partial} = \dot{E}_{1\partial} = -[\dot{U}_1 - \dot{I}_{1\partial}(r_{1\partial} + jx_{1\partial})] \quad - \quad \text{основні ЕРС}$$

двигуна; електромагнітний момент, що розвивається двигуном

$$M_{\partial} = m \frac{I_{2\partial}^2 r_{2\partial}}{\omega_{\partial} S_{\partial}} \quad \text{при заданому ковзанні } S_{\partial}.$$

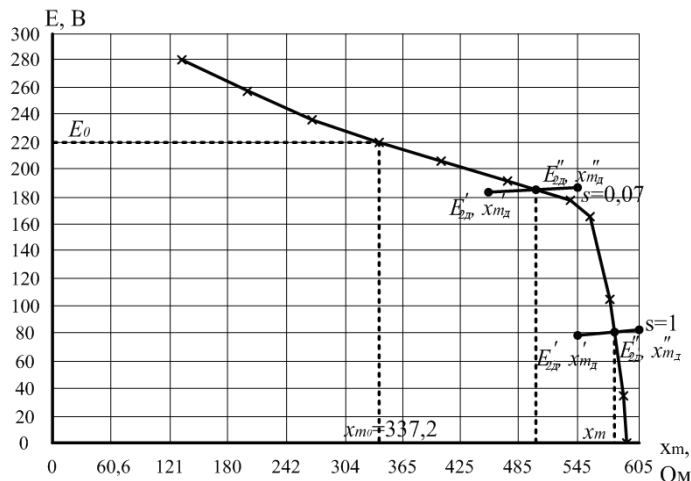


Рис. 2. Графік залежності $E = \varphi(x_m)$ на основі типової кривої намагнічування асинхронної машини 4A71A2

За отриманою величиною $E_{2\partial}$ і кривою $E = \varphi(x_m)$ (див. рис. 2) уточнюється розрахункове значення $x_{m\partial}$. Якщо попередньо прийняте значення $x'_{m\partial}$ відрізняється від знайденого значення $E_{2\partial}$ і кривої $E = \varphi(x_{m\partial})$ більше, ніж на 5 %, то приймається нове значення $x_{m\partial}$ і розрахунок повторюється при $x_{m\partial} \approx x'_{m\partial}$. Для більш точного визначення $x_{m\partial}$ при заданому ковзанні S_{∂} приймається два значення $x'_{m\partial}$ та $x''_{m\partial}$, знаходять для них ЕРС вторинної обмотки АД $E'_{2\partial}$, $E''_{2\partial}$. На перетині з кривою $E = \varphi(x_{m\partial})$ ліній, що утворені з'єднанням точок $E'_{2\partial}$, $x'_{m\partial}$ і $E''_{2\partial}$, $x''_{m\partial}$, знаходяться уточнені розрахункові значення $x_{m\partial}$.

Будується механічна характеристика, зовнішня характеристика генератора, оцінюється за ними умови пуску двигуна від генератора сумірної потужності в автономній системі.

Наведений приклад варіанта розрахунку компенсованого асинхронного генератора для компенсованого асинхронного двигуна, де значення опорів внутрішньої та зовнішньої ємності відповідно у генератора складають: $x_{c\Delta} = 60$ Ом, $x_c = 102$ Ом – у номінальному режимі; додаткової внутрішньої ємності $x_{ck} = 300$ Ом при пуску двигуна; у двигуна $x_{c\Delta} = 110$ Ом, $x_c = 20$ Ом. [5]. Двигун створює максимальний пусковий

момент і мінімальний робочий струм у номінальному режимі при $x_c = 21,6$ Ом та $x_{c\Delta} = 110$ Ом.

Висновки

Встановлено, що прийнята методика процесу пуску двигуна від генератора в АСЕЖ застосовується для різноманітних варіантів компенсованих і базових серійних асинхронних двигунів і генераторів.

Сумісна робота КАД та КААГ у автономному електромеханічному комплексі відбувається з покращенням робочих характеристик асинхронного генератора (підвищення рівня напруги і ступеня жорсткості зовнішніх характеристик) і пускових характеристик двигуна, зниження споживання реактивної потужності машин за рахунок ефекту внутрішньої ємнісної компенсації.

Для асинхронного генератора, як і для двигуна, в АЕК можна використовувати різні способи ємнісної компенсації.

Список літератури

1. Вольдек А. И. Электрические машин / А. И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
2. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин : Учебник для вузов / И. П. Копылов. – [3-е изд. перераб. и доп.]– М. : Высш. шк., 2001. – 327 с.
3. Методика розрахунку характеристик автономних асинхронних генераторів зі змішаним ємнісним збудженням [Мишин В. І, Каплун В. В., Макаревич С.С. та ін.]. – К. : ВЦ НАУ, 2007 – 44 с.
4. Мишин В. И. Эффект внутренней ёмкостной компенсации реактивной мощности в асинхронных двигателях / В. И. Мишин, Р. Н. Чуенко, В. В. Гаврилюк// Электротехника. – 2009. – №8 – С. 30–36.
5. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей / И.А. Сыромятников. – М.-Л.: ГЭИ, 1963. – 528 с.

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ КАК ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ НАГРУЗКИ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

С.С. Макаревич

Проведен анализ влияния асинхронного двигателя на асинхронный генератор соизмеримой мощности автономной системы электропитания (АСЭП).

Ключевые слова: автономная система электропитания, автономный асинхронный генератор, асинхронный двигатель соизмеримой мощности

INDUCTION MOTOR AS THE MAIN ELEMENT OF THE AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM LOAD

S. Makarevych

The effect of the asynchronous motor asynchronous generator power commensurate autonomous power supply system.

Keywords: *autonomous power supply system, a stand-alone induction generator, induction motor of comparable capacity*

УДК621.355.9

АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СОРБЦИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ

А.В. Петренко, кандидат технических наук
e-mail: petrenko.a80@mail.ru

Приведена математическая модель гидродинамики гетерогенных сред в эйлеровых переменных в условиях цилиндрической симметрии. Выполнен анализ исследований течения многокомпонентной смеси, когда один из компонентов конденсируется. Рассмотрены диффузионные процессы в сорбционных термотрансформаторах.

Ключевые слова: *математическое моделирование, термодинамическое равновесие, химический потенциал Гиббса, постоянная Больцмана, макроскопическая диффузия, энтропия*

В основу исследования гидродинамики многофазных сред положены математические модели. Уравнение движения и состояния для всей среды в целом, задающее напряжение и внутреннюю энергию, записываются в предположении локального термодинамического равновесия, когда в каждой точке можно определить температуру среды T . При этом принимается, что тензор скоростей деформируется, и определяется полем бароцентрических скоростей смесей v .

Цель исследований – рассмотрение диффузионных процессов в сорбционных аккумуляторах с анализом течения многокомпонентной смеси, когда один из компонентов конденсируется.

Материалы и методика исследований. Исследования выполнены на базе математических моделей с использованием метода стохастического моделирования.

Результаты исследования. Считается, что влияние состава смеси (ρ_i , $i = 1, 2, \dots, N$, где ρ – плотность) непосредственно проявляется через физико-химические параметры, входящие в уравнение движения и состояния (теплоемкость, коэффициент вязкости, модуль упругости и т.д.).

После общей постановки задачи запишем систему уравнений одномерного движения двухфазных сред в эйлеровых переменных в условиях цилиндрической симметрии:

The effect of the asynchronous motor asynchronous generator power commensurate autonomous power supply system.

Keywords: *autonomous power supply system, a stand-alone induction generator, induction motor of comparable capacity*

УДК621.355.9

АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СОРБЦИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ

А.В. Петренко, кандидат технических наук
e-mail: petrenko.a80@mail.ru

Приведена математическая модель гидродинамики гетерогенных сред в эйлеровых переменных в условиях цилиндрической симметрии. Выполнен анализ исследований течения многокомпонентной смеси, когда один из компонентов конденсируется. Рассмотрены диффузионные процессы в сорбционных термотрансформаторах.

Ключевые слова: *математическое моделирование, термодинамическое равновесие, химический потенциал Гиббса, постоянная Больцмана, макроскопическая диффузия, энтропия*

В основу исследования гидродинамики многофазных сред положены математические модели. Уравнение движения и состояния для всей среды в целом, задающее напряжение и внутреннюю энергию, записываются в предположении локального термодинамического равновесия, когда в каждой точке можно определить температуру среды T . При этом принимается, что тензор скоростей деформируется, и определяется полем бароцентрических скоростей смесей v .

Цель исследований – рассмотрение диффузионных процессов в сорбционных аккумуляторах с анализом течения многокомпонентной смеси, когда один из компонентов конденсируется.

Материалы и методика исследований. Исследования выполнены на базе математических моделей с использованием метода стохастического моделирования.

Результаты исследования. Считается, что влияние состава смеси (ρ_i , $i = 1, 2, \dots, N$, где ρ – плотность) непосредственно проявляется через физико-химические параметры, входящие в уравнение движения и состояния (теплоемкость, коэффициент вязкости, модуль упругости и т.д.).

После общей постановки задачи запишем систему уравнений одномерного движения двухфазных сред в эйлеровых переменных в условиях цилиндрической симметрии:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho_1 v}{\partial x} + \frac{\rho_1 v}{x} = I_{21}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\partial \rho_2 v}{\partial x} + \frac{\rho_2 v}{x} = -I_{21}; \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho v \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial \sigma^r}{\partial x} + \frac{\sigma^r - \sigma^\theta}{x}; \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u_1}{\partial t} + v \frac{\partial u_1}{\partial x} \right) + \rho \left(\frac{\partial u_2}{\partial t} + v \frac{\partial u_2}{\partial x} \right) = \sigma^r \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\sigma^\theta v}{x} - \frac{\partial q}{\partial x} - \frac{q}{x} + I_{12}(u_1 - u_2). \quad (4)$$

Эти уравнения должны быть дополнены уравнениями состояния для внутренних энергий, тензоров напряжений, вектора потока тепла. Кроме того, нужно задать кинетику интенсивности фазовых переходов [4].

Принимая гипотезу локального равновесия в пределах фазы и допуская, что фазы представляют собой двухпараметрическую среду, приходим к выводу [2], что термодинамические функции каждой фазы зависят только от термодинамических параметров состояния (истинной плотности ρ_i^{uc} и температуры T):

$$u_i = u_i(\rho_i^{uc}, T); \rho_i = \rho_i(\rho_i^{uc}, T); S_i = S_i(\rho_i^{uc}, T). \quad (5)$$

При этом справедливо соотношение Гиббса:

$$T_i \frac{d_i S_i}{dt} = \frac{d_i u_i}{dt} + \rho_i \frac{d_i}{dt} + \left(\frac{1}{\rho_i^{uc}} \right). \quad (6)$$

В представленных уравнениях приняты обозначения: ρ_1, ρ_2 – приведенные плотности фаз; t – время; x – координата; v – скорость; I_{ij} – интенсивность фазовых переходов ($I_{12}=I_{21}$); u_1, u_2 – внутренняя энергия; ρ – плотность смеси; d – удельный поток тепла; σ^r, σ^θ – тензор напряжений соответственно в радиальном и окружном направлениях; T – температура; p_i – давление; S_i – энтропия.

В работе [1] анализируется течение смеси из n компонентов, один из которых может конденсироваться. В нее входит кинетическое соотношение для функции распределения капель по размерам; определены значения коэффициентов конденсации a_k и термической аккомодации β , предложенные для процессов конденсации в [2].

Составной частью процесса конденсации является нуклеация. Для условий стационарной нуклеации М. Фольмер [5] определяет скорость образования зародышей I_v :

$$I_v = b N_1 \frac{3kT}{\sigma} B \exp(-B), \quad (7)$$

где N_1 – число молекул пара в единице объема; b – количество молекул, конденсирующихся при столкновении с единицей поверхности в единицу времени; k – постоянная Больцмана; σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости (независящий от радиуса r капли).

Обозначим локальный коэффициент диффузии через $D(x)$, а адсорбционный потенциал как функцию координаты через $U(x)$.

Тогда $F = -dU/dx$ – сила, действующая на молекулу, и v – скорость ее установившегося движения.

Поток диффузии j будет равен:

$$j = -D(x) \frac{dC}{dx} + v(x)C, \quad (8)$$

где v – скорость; C – концентрация молекул:

$$C = Z \exp \int \frac{v}{D} dx = Z\gamma, \quad (9)$$

где γ – локальный коэффициент сорбции:

$$\gamma = \exp(-U/kT), \quad (10)$$

где k – показатель адиабаты; T – температура, K .

Получаем обобщенное уравнение диффузии:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} vC, \quad (11)$$

или, если введем Z ,

$$\gamma \frac{\partial Z}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} D \gamma \frac{\partial Z}{\partial x}. \quad (12)$$

В случае трех измерений получим

$$\gamma \frac{\partial Z}{\partial \tau} = \text{div}(D \gamma \text{grad} Z). \quad (13)$$

При равновесии отсюда следует:

$$Z = \text{const.}$$

При этом Z является аналогом температуры, C_p – теплоемкости и D_{cp} – коэффициента теплопроводности.

Коэффициент макроскопической диффузии для нестационарного процесса оказывается равным $D_1(1/\gamma)$, где чертой сверху обозначено усреднение по координате x .

Под действием внешних сил, например ветра, диффузия происходит в среде, представляющей собой турбулентный поток.

Одно из характерных явлений, имеющих место в сорбционных системах, – это диффузия агента.

Для установившегося турбулентного движения и стационарных внешних условий уравнение диффузии в потоке имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + u_x \frac{\partial C}{\partial x} + u_y \frac{\partial C}{\partial y} + u_z \frac{\partial C}{\partial z} = f(x, y, z, \tau) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial C}{\partial z} \right). \quad (14)$$

В практических заданиях диффузии можно рассматривать в рамках модели несжимаемой жидкости. В таком случае уравнение диффузии записывается следующим образом:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + \langle u_x \rangle \frac{\partial C}{\partial x} + \langle u_y \rangle \frac{\partial C}{\partial y} + \langle u_z \rangle \frac{\partial C}{\partial z} = f(x, y, z, \tau) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} - \langle u_x C \rangle \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} - \langle u_y C \rangle \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial C}{\partial z} - \langle u_z C \rangle \right) \quad (15)$$

и является уравнением диффузии в турбулентном потоке несжимаемой среды.

Осредненные значения произведений пульсационных составляющих проекций скорости и концентрации согласно гипотезе Фика-Буссинеска считают пропорциональными градиенту осредненной концентрации [4]:

$$\langle u'_\alpha C' \rangle = -D_B \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial \alpha}, \quad (16)$$

где α – координата, на которую берется проекция пульсационной составляющей скорости; D_B – величина, называемая коэффициентом

турбулентной (вихревой) диффузии и имеющая размерность коэффициента молекулярной диффузии.

Общие закономерности исследуемых явлений можно получить методом математического моделирования. Для описания уравнения диффузии рассмотрим небольшую ячейку размером δx в точке x . Число молей в такой ячейке равно $(n_k(x, t)\delta x)$, скорость изменения числа молей $\partial(n_k(x, t)\delta x)/\partial t$.

Это изменение обусловлено суммарным потоком, т.е. разностью между потоком частиц в ячейку и потоком частиц из ячейки.

Суммарный поток в ячейку размером δx равен:

$$J_{Nk}(x) - J_{Nk}(x + \delta x) = J_{Nk}(x) - \left(J_{Nk}(x) + \frac{\partial J_{Nk}}{\partial x} \delta x \right) = -\frac{\partial J_{Nk}}{\partial x} \delta x. \quad (17)$$

Суммарный поток равен скорости изменения числа молей:

$$\frac{\partial n_k(x, t)}{\partial t} = -\frac{\partial J_{Nk}}{\partial x}. \quad (18)$$

Закон Фика позволяет записать (18) как дифференциальное уравнение функции $n_k(x, t)$:

$$\frac{\partial n_k(x, t)}{\partial t} = D_k \frac{\partial^2 n_k(x, t)}{\partial x^2}. \quad (19)$$

Это уравнение в частных производных называется уравнением диффузии компонента k и выполняется для произвольной гомогенной системы. Диффузия уничтожает различия в концентрации во всей системе. Однако следует иметь ввиду, что термодинамическая сила стремится выровнять химический потенциал, а не концентрацию.

Выводы

Приведенный метод анализа сорбционных процессов может быть использован при исследовании явлений, имеющих место в сорбционных аккумуляторах, различных видах тепловых насосов (компрессионных, абсорбционных и их возможных комбинациях), пористых средах.

Список литературы

1. Баханов В.П. Замкнутая система уравнений двухфазной газодинамики при наличии химических реакций и квазистационарной гомогенной конденсации / В.П. Баханов, М.В. Буйков // Тр. УкрНИГМИ. – 1971. – Вып. 99. – С. 21–24.
2. Баханов В.П. Об учете трансляционных и вращательных степеней свободы при вычислении работы образования зародыша в теории нуклеации / В.П. Баханов, М.В. Буйков // Укр.физ.журн. – 1969. – Т.13, вып. 5. – С. 761–766.
3. Дейч М.Е. Газодинамика двухфазных сред / Дейч М.Е., Филиппов Г.А. – 2-е изд. – М.: Энергоиздат, 1981. – 472 с.
4. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения / Уоллис Г. – М.: Мир, 1972. – 436 с.
5. Gibbs J.W. Elementary principles in statistical mechanics / Gibbs Josiah Willard. – New York. – Yale University press. – 1902. – 207 с.

АНАЛІЗ ФАЗОВИХ ПРОЦЕСІВ У СОРБЦІЙНИХ АКУМУЛЯТОРАХ

А.В. Петренко

Наведено математичну модель гідродинаміки гетерогенних середовищ в ейлеревих змінних в умовах циліндричної симетрії. Виконано аналіз досліджень течії багатокомпонентної суміші, коли один із компонентів конденсується. Розглянуто дифузійні процеси в сорбційних термотрансформаторах.

Ключові слова: *математичне моделювання, термодинамічна рівновага, хімічний потенціал Гіббса, постійна Больцмана, макроскопічна дифузія, ентропія*

THE ANALYSIS OF PHASE PROCESSES IN SORPTION ACCUMULATORS

A. Petrenko

Presented mathematical model of fluid dynamics in heterogeneous environments Euler variables in a cylindrical symmetry. The analysis studies the flow of multicomponent mixtures, one of which is condensed. Consider the diffusion processes in the sorption thermotransformers.

Keywords: *mathematical modeling, thermodynamic equilibrium, the chemical potential of Gibbs, Boltzmann constant, macroscopic diffusion, entropy*

УДК 621.31:631.6.03

СИСТЕМА ДОПОМІЖНИХ КОМБІНОВАНИХ ЕЛЕКТРОДІВ В УСТАНОВЦІ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ОБРОБКИ РІДИН

Д.Ю.Ілюхін, аспірант

С.М.Усенко, кандидат технічних наук

e-mail: usenko2@bigmir.net

Розглянуто допоміжну комбіновану електродну систему для камери обробки води в сильному електричному полі. Визначено ефективну конструкцію додаткової комбінованої електродної системи. Наведено результати досліджень щодо залежності частоти поверхневих розрядів від конструкції допоміжних електродів.

Ключові слова: *сильне електричне поле, вода, дезінфекція, озон, поверхневі розряди*

Сучасний розвиток сільськогосподарського виробництва вимагає застосування передових технологій, які здатні забезпечити максимальну

АНАЛІЗ ФАЗОВИХ ПРОЦЕСІВ У СОРБЦІЙНИХ АКУМУЛЯТОРАХ

А.В. Петренко

Наведено математичну модель гідродинаміки гетерогенних середовищ в ейлеревих змінних в умовах циліндричної симетрії. Виконано аналіз досліджень течії багатокомпонентної суміші, коли один із компонентів конденсується. Розглянуто дифузійні процеси в сорбційних термотрансформаторах.

Ключові слова: *математичне моделювання, термодинамічна рівновага, хімічний потенціал Гіббса, постійна Больцмана, макроскопічна дифузія, ентропія*

THE ANALYSIS OF PHASE PROCESSES IN SORPTION ACCUMULATORS

A. Petrenko

Presented mathematical model of fluid dynamics in heterogeneous environments Euler variables in a cylindrical symmetry. The analysis studies the flow of multicomponent mixtures, one of which is condensed. Consider the diffusion processes in the sorption thermotransformers.

Keywords: *mathematical modeling, thermodynamic equilibrium, the chemical potential of Gibbs, Boltzmann constant, macroscopic diffusion, entropy*

УДК 621.31:631.6.03

СИСТЕМА ДОПОМІЖНИХ КОМБІНОВАНИХ ЕЛЕКТРОДІВ В УСТАНОВЦІ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ОБРОБКИ РІДИН

Д.Ю.Ілюхін, аспірант

С.М.Усенко, кандидат технічних наук

e-mail: usenko2@bigmir.net

Розглянуто допоміжну комбіновану електродну систему для камери обробки води в сильному електричному полі. Визначено ефективну конструкцію додаткової комбінованої електродної системи. Наведено результати досліджень щодо залежності частоти поверхневих розрядів від конструкції допоміжних електродів.

Ключові слова: *сильне електричне поле, вода, дезінфекція, озон, поверхневі розряди*

Сучасний розвиток сільськогосподарського виробництва вимагає застосування передових технологій, які здатні забезпечити максимальну

економічність, автоматизацію процесів, високу культуру виробництва та екологічну чистоту.

Одним із найважливіших складових компонентів, що використовуються в сільськогосподарському виробництві та переробній галузі як і раніше залишається вода. Тому, розробка способів і засобів для електрофізичної обробки води з метою підвищення продуктивності технологічних процесів у галузях сільськогосподарського виробництва є актуальним питанням.

Мета досліджень – вивчення впливу допоміжної комбінованої електродної системи в камері обробки рідини на частоту часткових розрядів.

Матеріали та методика досліджень. Одним із перспективних напрямів розвитку електротехнологій є використання взаємодії сильних електричних полів із диспергированими матеріалами, які несуть електричний заряд.

Для знезараження води основним фактором є озон, який під дією сильного електричного поля утворюється у повітряному проміжку між електродом та поверхнею води. Для збільшення концентрації озону потрібно збільшити частоту часткових розрядів у повітряному проміжку. Тому, була запропонована установка для обробки рідини і рідких продуктів, у конструкцію якої додатково внесена діелектрична електродна система, електроди якої є осередками виникнення додаткових часткових розрядів (рис. 1).

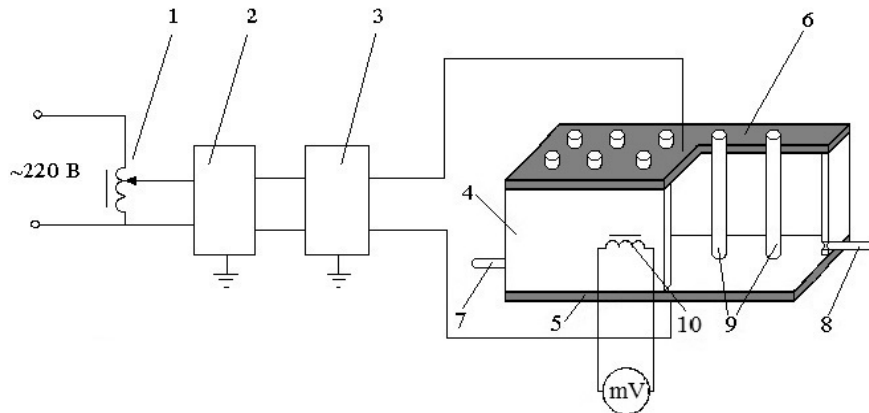


Рис.1. Експериментальна установка для електричної обробки рідини і рідких продуктів

Допоміжна електродна система складається з комбінованих електродів, що являють собою порожнисті трубки циліндричної форми, виготовлені з діелектричного матеріалу і запаяні з обох сторін, для запобігання потрапляння рідини всередину. Всередину діелектричних трубок введено циліндричні металеві ініціатори розрядів (рис.2.). Допоміжні комбіновані електроди встановлюються через отвори у верхньому плоскому електроді.

Металеві ініціатори розрядів дозволяють збільшити частоту розрядів, а відповідно концентрацію озону, ефективність і продуктивність обробки. Частота імпульсів регулюється підведеною напругою між

електродами, товщиною шару рідини і проміжком повітря між рідиною і верхнім електродом, а також кількістю допоміжних комбінованих електродів. Інтенсивність іонізаційних процесів контролюється за допомогою індуктивного датчика з мілівольтметром.

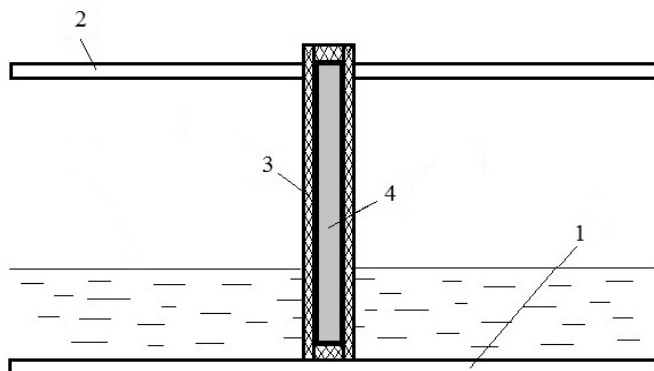


Рис. 2. Допоміжний комбінований електрод:

1, 2 – відповідно нижній та верхній плоскі електроди; 3 – діелектрична трубка; 4 – металевий ініціатор розрядів

Установка (див. рис. 1) складається з регулятора напруги 1, який з'єднаний з первинною обмоткою високовольтного трансформатора 2. Його вторинні виводи приєднані до каскадного помножувача напруги 3, до виводів якого приєднані нижній і верхній пластинчасті електроди 5 і 6 відповідно, які розташовані в камері для обробки рідини 4, виготовленої з діелектричного матеріалу. Також в установці передбачені вхідний 7 і вихідний 8 патрубки для подачі і відведення рідини, індуктивний датчик 10 з мілівольтметром. У камері знаходиться додаткова комбінована електродна система 9. Живлення установки відбувається від мережі змінного струму 50 Гц.

При проведенні досліджень використовували кіловольтметр С96, для аналізу розрядних процесів, що відбуваються в камері обробки – електронний осцилограф RIGOL DS1102E з діапазоном пропускання 100 МГц.

Результати досліджень. На рис. 3 наведено осцилограми поверхневих розрядів під час обробки рідини. Аналіз наведених осцилограм дозволив встановити, що за наявності в камері обробки допоміжних комбінованих електродів значно зростає частота поверхневих розрядів, що призводить до збільшення концентрації озону в камері обробки, а відповідно і до підвищення якості обробки рідини.

Аналіз графіка (рис. 4) показує, що зі збільшенням діаметра металевого ініціатора розрядів всередині додаткових комбінованих електродів частота зростає.

Для зменшення матеріалоємності і затрат на виготовлення установки були проведені додаткові дослідження щодо залежності частоти поверхневих розрядів від конструктивних параметрів металевих ініціаторів розрядів.

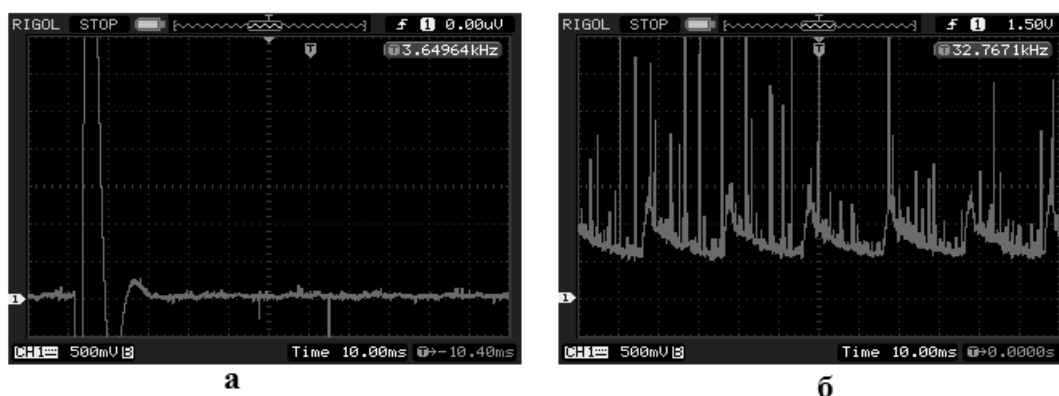


Рис. 3. Осцилограми розрядних процесів у камері електричної обробки рідини:

- а – без встановлених допоміжних комбінованих електродів ($E=8,8$ кВ/см);
 б – із встановленими допоміжними комбінованими електродами ($E=4,4$ кВ/см)

Також були проведені дослідження для встановлення залежності діаметра металевих ініціаторів розрядів на частоту.

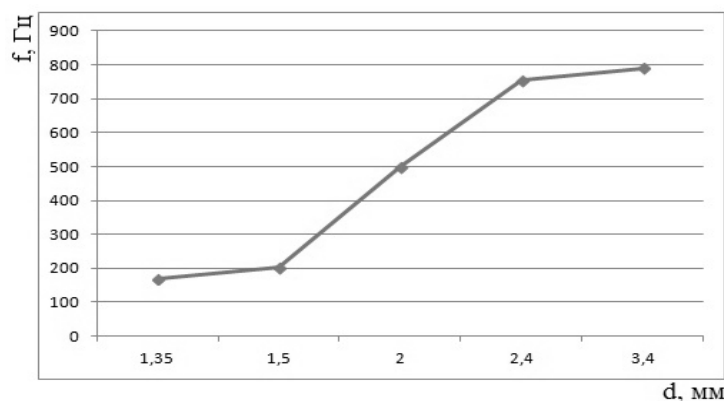


Рис. 4. Графік залежності частоти від діаметра металевих ініціаторів розрядів

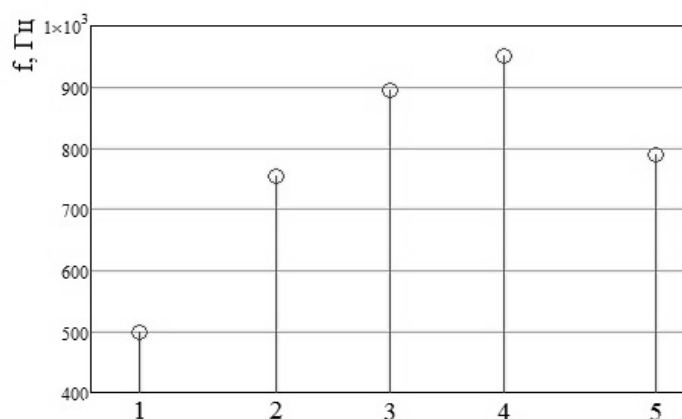


Рис. 5. Діаграма залежності частоти поверхневих розрядів від конструкції металевих ініціаторів розрядів:

- 1 – металевий ініціатор розрядів перерізом 4 мм^2 ; 2 – металевий ініціатор розрядів перерізом 6 мм^2 ; 3 – два металевих ініціатори розрядів перерізом $1,5 \text{ мм}^2$ розміщені один біля одного; 4 – два металевих ініціатори розрядів перерізом $2,5 \text{ мм}^2$ розміщені один біля одного; 5 – металевий ініціатор розрядів перерізом 10 мм^2

Аналізуючи проведені дослідження, результати яких наведено на рис. 5, встановлено, що два додаткових комбінованих електроди, розташованих поруч (лінії 3, 4) збільшують частоту поверхневих розрядів порівняно з одним електродом більшого перерізу (лінія 5). Два електроди з перерізом 2,5 мм² дають більшу частоту, ніж два електроди перерізом 1,5 мм². Тому доцільніше буде використовувати два додаткових комбінованих електроди перерізом 2,5 мм², розташованих поруч один біля одного, ніж один електрод з більшою площею (10 мм²). Це дасть змогу зменшити матеріалоємність і затрати на виготовлення установки, а також підвищити ефективність обробки рідини і самої установки в цілому.

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено, що за наявності в камері обробки допоміжних комбінованих електродів значно збільшується частота розрядних процесів. Це призводить до зростання концентрації озону в камері обробки, а відповідно і до підвищення якості обробки рідини. Також визначено ефективну конструкцію додаткової комбінованої електродної системи, яка передбачає використання двох додаткових електродів перерізом 2,5 мм² поруч один біля одного.

Список літератури

1. Александров А.Б. Ионизация молекул воды в равномерном магнитном поле /А.Б. Александров, В.А. Харитонов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М.: Колос, 2004. –№11. – С. 10 – 11.
2. Вплив електростатичного поля високої напруги та іскрового розряду на оптичний коефіцієнт пропускання водопровідної води /О.М.Берека, Л.С.Червінський, Ю.М.Чикін, С.М. Усенко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – К.:ВЦ НАУ, 2005. –№ 3(12). – С. 62 – 68.
3. Дослідження впливу електростатичного поля високої напруги та іскрового розряду на рН і ОВП води / О.М.Берека, Л.С.Червінський, М.П.Салата, С.М.Усенко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства.– К.:ВЦ НАУ, 2005.– № 4(13). – С. 61 – 66.
4. Дураджи В.Н. Об электрическом импульсном разряде между металлическим и электролитным электродами / В.Н. Дураджи // Электронная обработка материалов.– Кишинев: ИПФ, 2001. –№ 3. – С. 22 – 26.
5. Пат. № 80722 Україна А23С 3/00, А23L 3/32, С02F 1/48. Спосіб електричної обробки рідин і рідких продуктів та пристрій для його здійснення / Берека О.М., Червінський Л.С., Салата М.П., Борщ Г.М. – № а200503599; заявл. 18.04.2005; опубл. 25.10.2007, Бюл. №17.
6. Хацуков С. М. Исследование свойств электроактивированной воды / С.М. Хацуков // Механизация и электрификация сельского хозяйства.– М.: Колос, 2003. –№ 3. – С. 14 – 15.
7. Червінський Л. С. Оптичні технології в тваринництві / Л.С. Червінський. – К.: Наук. думка, 2003. – 229 с.

СИСТЕМА ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Д.Ю. Илюхин, С.Н. Усенко

Рассмотрена вспомогательная комбинированная электродная система для камеры обработки воды в сильном электрическом поле. Определена эффективная конструкция дополнительной комбинированной электродной системы. Приведены результаты исследований по зависимости частоты поверхностных разрядов от конструкции вспомогательных электродов.

Ключевые слова: *сильное электрическое поле, вода, дезинфекция, озон, поверхностные разряды*

THE SYSTEM OF AUXILIARY COMBINED ELECTRODES IN A INSTALLATION FOR ELECTRICAL TREATMENT OF WATER

D. Iliukhin, S. Usenko

Consider the auxiliary combined electrode system for water treatment chamber in a high electric field. Determine the effectiveness of the design of an additional combined electrode system. The results of studies on the dependence of the frequency of surface discharges on the design of the auxiliary electrodes.

Keywords: *high electric field, water, disinfection, ozone, superficial discharges*

УДК 621.3: 631.53.027.33

ІМПУЛЬСНЕ ДЖЕРЕЛО ВИСОКОЇ НАПРУГИ

А.І. Чміль, доктор технічних наук

О.В. Науменко, асистент

e-mail: virf750@mail.ru

Розглянуто імпульсне джерело високої напруги для установки з обробки зернової маси в сильному електричному полі. Наведено його принципову електричну схему та опис роботи.

Ключові слова: *зернова маса, комірні шкідники, сильне електричне поле, імпульсне джерело високої напруги*

На кафедрі електропривода та електротехнологій ведуться дослідження з використання сильного електричного поля, яке є одним із перспективних засобів впливу на зернову масу [2]. Одним із пріоритетних напрямів застосування сильного електричного поля є обробка зерна з метою знешкодження комах-шкідників зернових [1].

В установках електротехнологічних процесів, де застосовується висока напруженість, одним із діючих факторів є сильне електричне поле, тобто поле з напруженістю більше 100 кВ/м [3, 4].

Рассмотрена вспомогательная комбинированная электродная система для камеры обработки воды в сильном электрическом поле. Определена эффективная конструкция дополнительной комбинированной электродной системы. Приведены результаты исследований по зависимости частоты поверхностных разрядов от конструкции вспомогательных электродов.

Ключевые слова: *сильное электрическое поле, вода, дезинфекция, озон, поверхностные разряды*

THE SYSTEM OF AUXILIARY COMBINED ELECTRODES IN A INSTALLATION FOR ELECTRICAL TREATMENT OF WATER

D. Iliukhin, S. Usenko

Consider the auxiliary combined electrode system for water treatment chamber in a high electric field. Determine the effectiveness of the design of an additional combined electrode system. The results of studies on the dependence of the frequency of surface discharges on the design of the auxiliary electrodes.

Keywords: *high electric field, water, disinfection, ozone, superficial discharges*

УДК 621.3: 631.53.027.33

ІМПУЛЬСНЕ ДЖЕРЕЛО ВИСОКОЇ НАПРУГИ

А.І. Чміль, доктор технічних наук

О.В. Науменко, асистент

e-mail: virf750@mail.ru

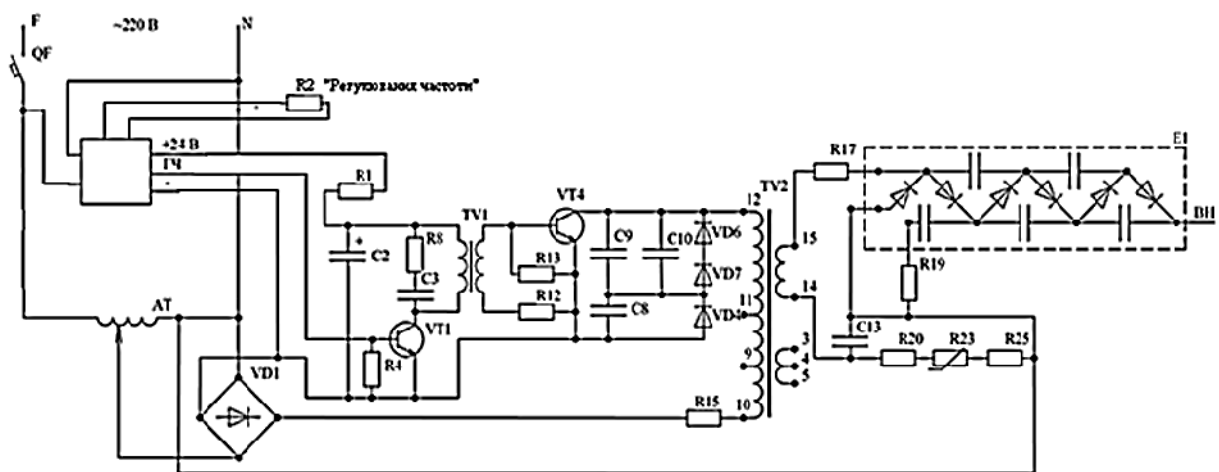
Розглянуто імпульсне джерело високої напруги для установки з обробки зернової маси в сильному електричному полі. Наведено його принципову електричну схему та опис роботи.

Ключові слова: *зернова маса, комірні шкідники, сильне електричне поле, імпульсне джерело високої напруги*

На кафедрі електропривода та електротехнологій ведуться дослідження з використання сильного електричного поля, яке є одним із перспективних засобів впливу на зернову масу [2]. Одним із пріоритетних напрямів застосування сильного електричного поля є обробка зерна з метою знешкодження комах-шкідників зернових [1].

В установках електротехнологічних процесів, де застосовується висока напруженість, одним із діючих факторів є сильне електричне поле, тобто поле з напруженістю більше 100 кВ/м [3, 4].

Результати досліджень. Конструктивно імпульсне джерело високої напруги включає в себе блок випрямлячів, генератор частоти з джерелом живлення напругою 12 В, високовольний блок, а також блок регулювань та вимірювальний блок. Для електричного з'єднання частин схеми між собою використовується плата з'єднань. Як регулятор напруги для джерела живлення використано лабораторний автотрансформатор ЛАТР-2М (рис. 1)



Джерело живлення постійною напругою 12 В призначене для живлення генератора частоти постійною напругою 12 В. Схема складається із понижувального трансформатора змінної напруги *TV*, який трансформує напругу до рівня 12 В, мостового випрямляча *VD1*. Для зменшення пульсацій та стабілізації напруги призначені конденсатори *C1*, *C2* та стабілізатор *DA2*.

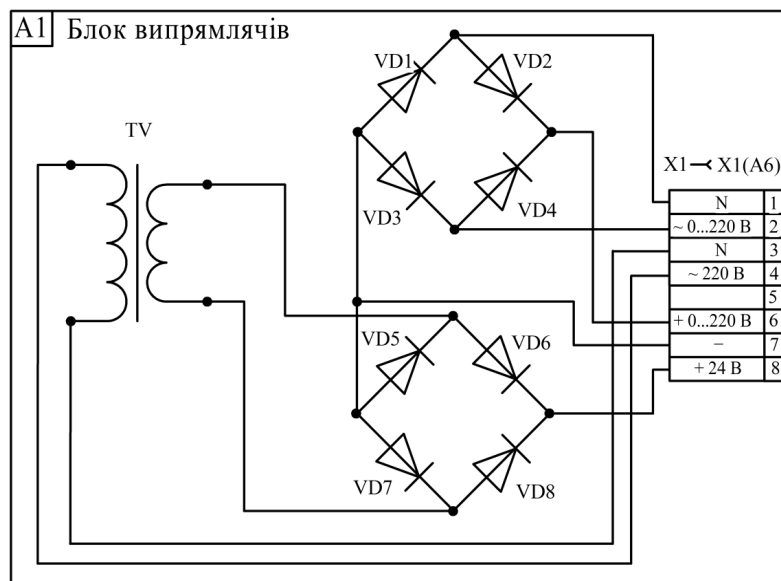


Рис. 2. Електрична схема блока випрямлячів

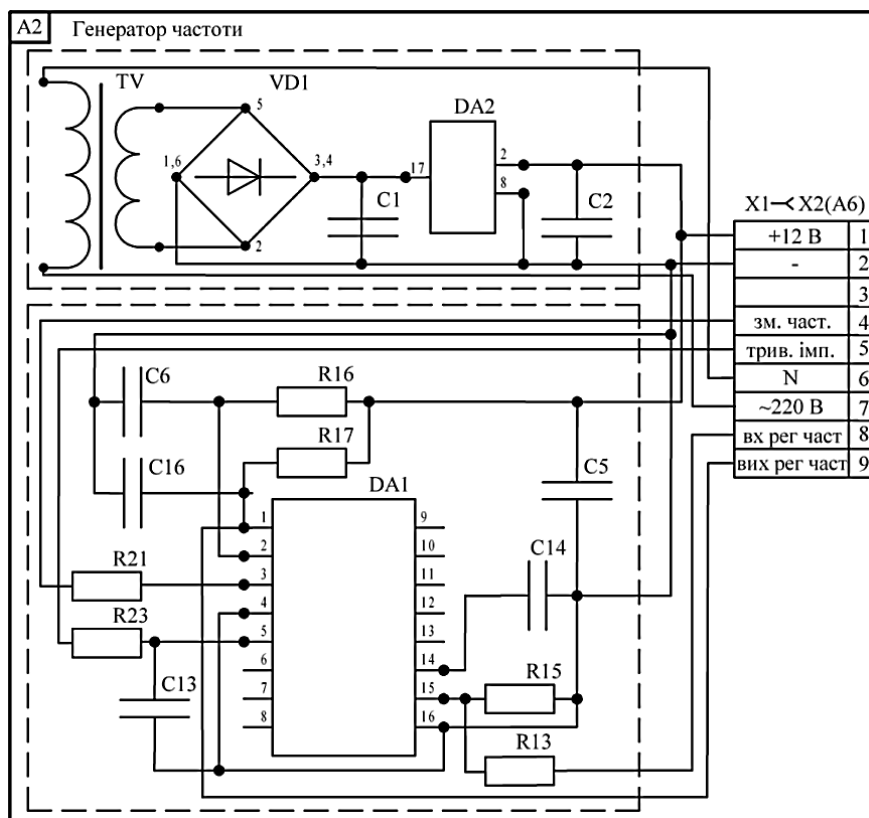


Рис. 3. Електрична схема джерела живлення постійною напругою 12 В та генератора частоти

Як генератор частоти використано субмодуль синхронізації УСР-1С із внесенням змін до електричної схеми. Генератор частоти побудовано на основі мікросхеми *DA1* типу *K174XA11*, він генерує коливання, необхідні для управління високовольтним блоком. Через вивід *14* до мікросхеми підключено часозадаючий конденсатор *C14*. Потрібну частоту коливань задають за допомогою резистора *R1* блока регулювань.

Блок регулювань (рис. 4) призначений для встановлення необхідного рівня частоти та тривалості імпульсів керування на виході генератора частоти.

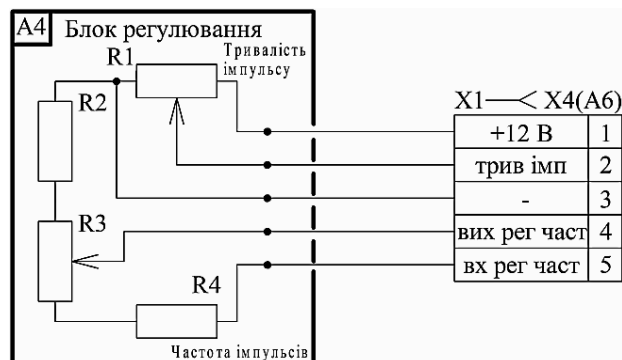


Рис. 4. Електрична схема блока регулювання

Резистором $R1$ змінюється тривалість імпульсу на виході генератора частоти, резистором $R3$ – частота імпульсів на виході генератора частоти.

Діапазон зміни частоти вихідних імпульсів становить 1–19 кГц, залежність скважності імпульсів від частоти імпульсів генератора наведено на рис. 5.

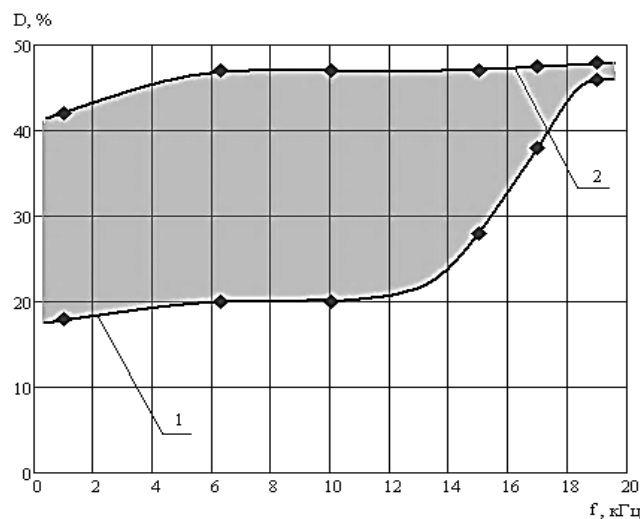


Рис. 5. Регульовальні характеристики генератора частоти з блоком регулювання (залежність скважності імпульсів від частоти вихідних сигналів генератора частоти):

1 – рівень мінімального значення скважності імпульсів; 2 – рівень максимального значення скважності імпульсів

Як видно з рис. 5 скважність імпульсів змінюється від 18 до 42 % при частоті імпульсів 1 кГц та від 46 до 48 % при частоті імпульсів 19 кГц

Високовольтний блок (рис. 6) побудовано на основі модуля рядкової розгортки МС-1С. Він призначений для живлення високовольтною напругою імпульсного струму камери обробки зернового матеріалу.

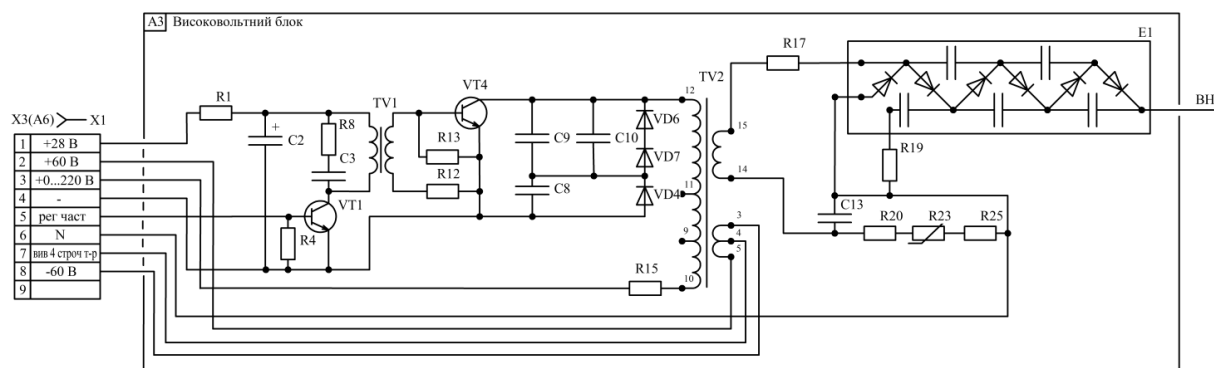


Рис.6. Електрична схема високовольтного блока імпульсного джерела високої напруги

Модуль складається з вхідного і вихідного каскадів підсилення управляючого сигналу, узгоджувального трансформатора, високовольтного імпульсного трансформатора TV2 типу ТВС-110ПЦ15 та помножувача напруги УН9/27-1,3. Електричні характеристики високовольтного імпульсного трансформатора та помножувача напруги наведено нижче.

Вхідний каскад побудовано на транзисторі VT1, вихідний каскад – на транзисторі VT4 та діодах VD4, VD6, VD7 у вигляді двостороннього транзисторно-діодного ключа.

Електричні характеристики трансформатора ТВС-110ПЦ15

Напруга живлення, В	135±15
Частота імпульсів, кГц	15±1,6
Номинальна напруга на виході високовольтної обмотки, кВ	8,5
Кількість витків обмотки між виводами, шт:	
11–12	100
9–11	45
9–10	16
4–3	4
4–5	8
14-15 (вихідна високовольтна обмотка)	1080

Електричні характеристики помножувача напруги УН9/27-1,3

Номинальна вхідна напруга, кВ	9
Номинальна вихідна напруга, кВ	27
Номинальний струм навантаження, мА	1,3

У момент вмикання джерела високої напруги в мережу на базу транзистора VT1 подаються імпульси запуску, сформовані генератором частоти. Протікання колекторного струму транзистора VT1 супроводжується накопиченням магнітної енергії в первинній обмотці узгоджувального трансформатора TV1. Після закінчення запусконого імпульсу транзистор закривається, що призводить до різкого зменшення його колекторного струму і появи ЕРС самоіндукції на первинній обмотці трансформатора. В контурі, що створюється індуктивністю обмотки та її розподіленою ємністю виникають власні коливання. Для захисту від

перенапруги первинна обмотка трансформатора *TV1* зашунтована колом *R8-C3*. Із вторинної обмотки трансформатора управляючі імпульси струму надходять у коло бази вхідного транзистора *VT4*. Регульована напруга живлення на його колектор подається через контакт 3 роз'єму *X1*, резистор *R15*, обмотку трансформатора *TV2* з виводами 10, 12. При подачі управляючого імпульсу на базу транзистора *VT4* він відкривається і через обмотку трансформатора *TV2* з виводами 10, 12 проходить струм. Після закінчення управляючого імпульсу транзистор закривається і у первинній обмотці наводиться ЕРС самоіндукції, яка трансформується у вторинну обмотку з виводами 14, 15. Напруга у вторинній обмотці підводиться до помножувача напруги *E1*. Помножувач напруги перетворює імпульсну напругу в постійну, яка використовується для живлення камери обробки зернової продукції.

Вимірювальний блок (рис. 7) призначений для підключення вимірювальних приладів для налагодження схеми.

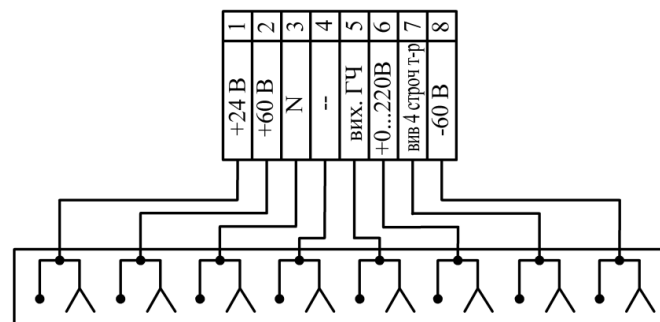


Рис.7. Електрична схема вимірювального блоку

Вимірювальний блок дозволяє проводити вимірювання випрямленої напруги живлення (вивід 3), частоту та тривалість імпульсів на виході генератора частоти (вивід 5), та параметри сигналу на вторинній обмотці імпульсного трансформатора (виводи 6–8), що дозволяє проводити наладку пристрою.

Висновки

У розробленому імпульсному джерелі високої напруги передбачено регулювання частоти та тривалості імпульсів, напруги на електродах, що забезпечить велику різноманітність режимних параметрів пристрою.

Список літератури

1. Берека О.М. Знешкодження в сильних електричних полях комах-шкідників зерна / О.М. Берека, О.В. Науменко // *Motrol. Motorization and power industry in agriculture*. – 2011. – Volume 13D. – С. 291 - 295.
2. Берека О.М. Сильні електричні поля в зерновій галузі рослинництва: монографія / О.М. Берека. – К.: ВЦ НУБіП України, 2011. – 400 с.
3. Электрозерноочистительные машины / [Басов А.М., Изаков Ф.Я., Шмигель В.Н. и др.]. – М.: Машиностроение, 1967. – 201 с.
4. Электротехнология / [Басов А.М., Быков В.Г., Лаптев А.В. и др.]. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.

ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

А.И. Чмиль, А.В. Науменко

Рассмотрен импульсный источник высокого напряжения для установки обработки зерновой массы в сильном электрическом поле. Приведена его принципиальная электрическая схема и описание ее работы.

Ключевые слова: зерновая масса, амбарные вредители, сильное электрическое поле, импульсный источник высокого напряжения

HIGH VOLTAGE SWITCHING POWER

A. Chmil, O. Naumenko

It is considered pulsed high voltage source for processing installation of grain mass in a high electric field. Shows the electrical schematic of pulsed high voltage source and description of his work.

Keywords: grain mass, grain insects, high electric field, pulsed high voltage source

УДК 62 - 83 : 621. 313. 333

ОДНОФАЗНИЙ КОМПЕНСОВАНИЙ АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН

Р.М. Чуєнко, кандидат технічних наук

М.В. Мархонь, асистент

e-mail: roman_chuenko@ukr.net

Запропоновано методику розрахунку характеристик однофазного компенсованого конденсаторного асинхронного електродвигуна.

Ключові слова: однофазний компенсований конденсаторний асинхронний двигун, схема заміщення, рівняння, характеристика

Відомий трифазний асинхронний електродвигун [1, 2], принцип дії якого заснований на використанні обертового магнітного поля m -фазної (коли $m \geq 2$) системи струмів, є конструктивно простим, дешевим та надійним. Тому він широко використовується на практиці, особливо у варіанті із короткозамкненим ротором.

Проте через умови створення обертового магнітного поля він має недоліки, головним із яких є споживання двигуном із мережі живлення двох видів електричних потужностей – активної, яка перетворюється у

ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

А.И. Чмил, А.В. Науменко

Рассмотрен импульсный источник высокого напряжения для установки обработки зерновой массы в сильном электрическом поле. Приведена его принципиальная электрическая схема и описание ее работы.

Ключевые слова: зерновая масса, амбарные вредители, сильное электрическое поле, импульсный источник высокого напряжения

HIGH VOLTAGE SWITCHING POWER

A. Chmil, O. Naumenko

It is considered pulsed high voltage source for processing installation of grain mass in a high electric field. Shows the electrical schematic of pulsed high voltage source and description of his work.

Keywords: grain mass, grain insects, high electric field, pulsed high voltage source

УДК 62 - 83 : 621. 313. 333

ОДНОФАЗНИЙ КОМПЕНСОВАНИЙ АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН

Р.М. Чуєнко, кандидат технічних наук

М.В. Мархонь, асистент

e-mail: roman_chuenko@ukr.net

Запропоновано методику розрахунку характеристик однофазного компенсованого конденсаторного асинхронного електродвигуна.

Ключові слова: однофазний компенсований конденсаторний асинхронний двигун, схема заміщення, рівняння, характеристика

Відомий трифазний асинхронний електродвигун [1, 2], принцип дії якого заснований на використанні обертового магнітного поля m -фазної (коли $m \geq 2$) системи струмів, є конструктивно простим, дешевим та надійним. Тому він широко використовується на практиці, особливо у варіанті із короткозамкненим ротором.

Проте через умови створення обертового магнітного поля він має недоліки, головним із яких є споживання двигуном із мережі живлення двох видів електричних потужностей – активної, яка перетворюється у

механічну, із передачею на вал ротора для привода робочого механізму, що призводить до неминучих теплових втрат (нагрівання струмом обмоток, магнітні втрати в сталі, механічні, додаткові), а також реактивної для створення обертового магнітного поля. При цьому реактивна потужність не перетворюється в інші види енергії, а лише створює умови для електромеханічного перетворення активної енергії в магнітному полі. Непродуктивний реактивний струм збільшує загальний струм машини та мережі живлення, збільшуючи втрати в них. Внаслідок цього зменшуються ККД двигуна та його коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$). Наприклад, для двигунів малої (до 11 кВт) та середньої (до 100 кВт) потужності коефіцієнт потужності становить 0,7–0,9. Пусковий струм асинхронного двигуна є досить великим і у 4–7 разів перевищує номінальний, при цьому пусковий момент двигуна становить лише 0,8÷2,0 від номінального, що значною мірою обмежує його застосування у малопотужних мережах та для приводу механізмів із великими інерційними масами. Ще більш вагомими недоліками мають однофазні двигуни, які за однофазного змінного струму створюють пульсуюче магнітне поле за нульового пускового моменту. ККД та $\cos\varphi$ однофазного двигуна є ще нижчими, ніж у трифазного. Для усунення або хоча б послаблення деяких із цих недоліків асинхронного двигуна запропоновано спосіб внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності [4].

Мета досліджень – розробка засобів для усунення недоліків однофазного конденсаторного асинхронного двигуна шляхом перетворення його на двофазний із використанням фазозсувного елемента у вигляді конденсатора електричної ємності.

Матеріали та методика досліджень. На нашу думку ці способи внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності за змістом є аналогічними одне одному, хоча однофазний конденсаторний двигун давно відомий [1, 2], а компенсований трифазний є сучасним винаходом [4, 5]. Для створення трифазного варіанта компенсованого асинхронного двигуна (КАД) у базовому серійному асинхронному двигуні (АД) фазну зону 60° обмотки статора розділяють на дві однакові частини, зміщені одна відносно іншої у пазах осердя статора на кут $\theta = 30^\circ$. Одна з частин, яка має кількість витків w_1 , вважається головною обмоткою статора і під'єднується до мережі живлення на робочу напругу фази U , а інша, із кількістю витків $\Delta w = w_1$, є додатковою обмоткою статора. Відносно головної обмотки вона зміщена у пазах осердя статора на кут $\theta = 30^\circ$ проти напрямку обертання магнітного поля статора і підключена до неї за схемою поворотного автотрансформатора (АТ) на електричну ємність C_Δ у фазі (рис. 1 а, б). Схема заміщення фази у симетричному режимі КАД наведена на рис. 1, б.

Обидві обмотки статора перетинаються єдиним магнітним полем при цьому ЕРС додаткової обмотки E_Δ випереджає за фазою ЕРС основної обмотки E_1 на час проходження полем просторового кута θ (рис. 2, а), тобто $\dot{E}_\Delta = \dot{E}_1 e^{j\theta}$, а різниця напруг цих обмоток $\dot{U}_1 - \dot{U}_\Delta = \dot{U}_{c\Delta}$ створює напругу $\dot{U}_{c\Delta}$ на ємності C_Δ на виході АТ. При цьому напруги на обмотках

без врахування спадів напруги на них дорівнюють відповідно $\dot{U}_1 = \dot{U} \approx -\dot{E}_1$, $\dot{U}_\Delta \approx -\dot{E}_\Delta$, напруга на виході АТ $\dot{U}_\Delta \approx \dot{E}_\Delta - \dot{E}_1$, а струм АТ $\dot{I}_\Delta = \frac{\dot{U}_{C\Delta}}{-jx_{C\Delta}}$ випереджає напругу на 90° (рис. 2, б).

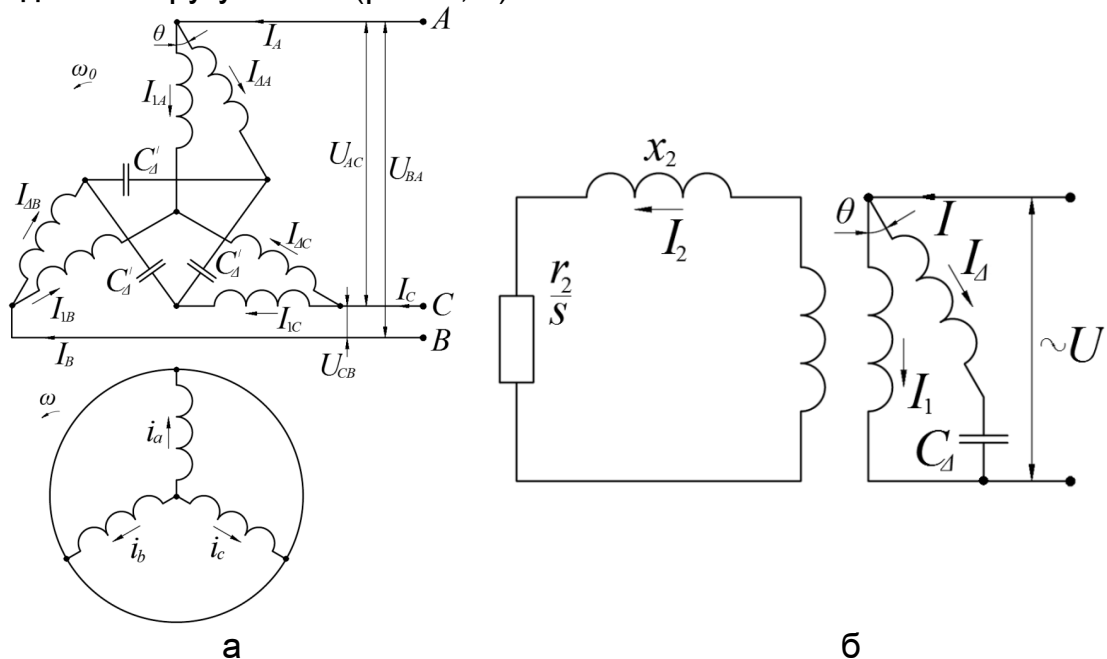


Рис. 1. Принципова електрична схема трифазного КАД (а) та схема заміщення його фази (б)

З урахуванням просторового зсуву обмотки Δw та часового зсуву її ЕРС $\dot{E}_\Delta$ відносно ЕРС головної обмотки $\dot{E}_1$ струм на виході АТ $\dot{I}_\Delta$, фактично ємнісний за характером, відносно загальної напруги $\dot{U}$ мережі живлення є ємнісно-активним (див. рис. 2, б), тобто додаткова обмотка статора КАД є суміщеною робочою (із частиною активної потужності навантаження) та компенсувальною із ємнісною потужністю ємності C_Δ . Разом із індуктивно-активним струмом $\dot{I}_1$ головної обмотки w_1 вони створюють загальний струм фази КАД $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_\Delta$, наближуючи його за фазою (кут φ) до загальної напруги $\dot{U}$. З іншого боку, приведений просторово до струму головної обмотки $\dot{I}_1$ як $\dot{I}_\Delta e^{-j\theta}$ струм додаткової обмотки у складі загального струму намагнічування КАД $\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_\Delta e^{-j\theta} + \dot{I}_2$ підмагнічує магнітопровід, зменшуючи споживання реактивної потужності для створення робочого магнітного поля.

Крім того струм додаткової обмотки індукуює в обмотці ротора додаткову ЕРС, що збільшує загальний струм ротора, пусковий момент двигуна та швидкість обертання за номінального навантаження і т.п. Також розподіл обмотки статора на дві просторово зміщені одна відносно одної на 30° частини створює в них зміщені за фазою ЕРС $\dot{E}_1$ та $\dot{E}_\Delta$, що в цілому подвоює кількість фаз ($m' = 2m$) та фазних зон ($m_3 = 2m'$) обмотки статора, що за $m = 3$ становить $m' = 3$, $m_3 = 12$ (див. рис. 2, а). При цьому з гармонійного спектра магнітного поля виключаються вищі просторові

У цілому внутрішня ємнісна компенсація реактивної потужності в КАД підвищує його енергоефективність і покращує його пуско-регульовальні та робочі характеристики.

Відмінною є лише величина кута просторового зміщення обмоток одна відносно одної. У КАД кут θ становить 30° , а в однофазному конденсаторному двигуні $\theta = 90^\circ$, тобто у загальному випадку $\theta = \frac{\pi}{2m}$.

233

В ОКД за $\theta = 90^\circ$ зникає взаємоіндуктивний (трансформаторний) зв'язок між обмотками статора, чим дещо спрощується запис їх рівнянь електричної рівноваги, але змінює порівняно із КАД вплив просторово зміщених між собою на 90° струмів i_1 та i_Δ на загальний струм намагнічування

234

де $\dot{I}_{\Delta} e^{-j\theta} = -j\dot{I}_{\Delta}$ за $\theta = 90^\circ$ – струм додаткової обмотки Δw , просторово зміщений відносно основної обмотки w_1 та приведений до неї; $\dot{I}_2$ – робочий струм вторинної обмотки (ротора).

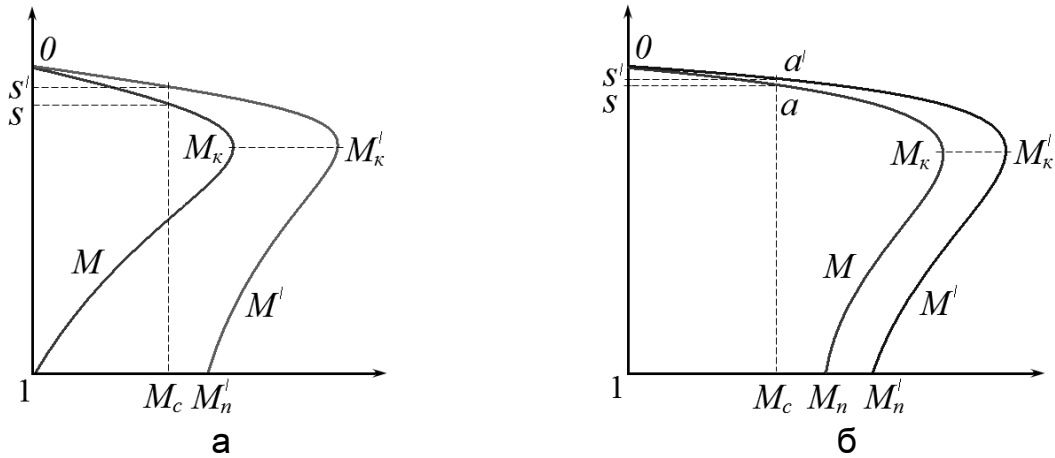


Рис. 5. Механічні характеристики однофазного двигуна $M(s)$ і однофазного компенсованого конденсаторного двигуна ($M'(s')$) (а) та трифазного базового асинхронного двигуна $M(s)$ і КАД ($M'(s')$) (б)

Рівняння електричної рівноваги для фази ОКД за схемою рис. 3, б за другим законом Кірхгофа, мають вигляд

$$\begin{aligned}\dot{U} &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1; \\ \dot{U} &= \dot{U}_{\Delta} + \dot{U}_{c\Delta} = -\dot{E}_{\Delta} + \dot{I}_{\Delta} Z_{\Delta} - jx_{c\Delta} \dot{I}_{\Delta}; \\ 0 &= -\dot{E}_2 + \dot{I}_2 z_2,\end{aligned}\quad (2)$$

де $\dot{E}_1 = \dot{E}_2 = -jx_m \dot{I}_0$, В – основна ЕРС обмоток w_1 статора та w_2 ротора; $\dot{E}_{\Delta} = j\dot{E}_1$, В – ЕРС додаткової обмотки Δw ; $z_1 = z_{\Delta} = r_1 + jx_1 = r_{\Delta} + jx_{\Delta}$, Ом – власні опори однакових обмоток w_1 та Δw ; $r_1 = r_{\Delta}$, Ом – їх активні опори; $x_1 = x_{\Delta}$, Ом – реактивні опори розсіювання; $z_2 = r_2/s + jx_2$, Ом – опір вторинної обмотки (ротора); x_m , Ом – опір кола намагнічування двигуна, який вважається сталим за [3] і визначається за кривою намагнічування з урахуванням її нелінійності [4, 5]; s – ковзання двигуна.

Дія системи рівнянь (1, 2) подана векторною діаграмою (див. рис. 4).

За заданих напруги живлення $\dot{U}$, параметрів двигуна [3] та внесеного реактивного опору $x_{c\Delta}$ ємності C_{Δ} , вибраної величини ковзання $0 \leq s \leq 1$ режиму двигуна система рівнянь (2) розв'язується відносно шуканих струмів $\dot{I}_1$, $\dot{I}_{\Delta}$, $\dot{I}_2$, $\dot{I}_0$ та залежних від них напруг $\dot{U}_{\Delta}$, $\dot{U}_{c\Delta}$, потужностей та моменту двигуна.

Так із рівняння роторного кола системи рівнянь (2) маємо вираз для струму ротора $\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2}{z_2}$, що за $\dot{E}_1 = \dot{E}_2 = -jx_m \dot{I}_0$ та $\dot{I}_0 = \dot{I}_1 - j\dot{I}_{\Delta} + \dot{I}_2$ визначає:

$$\dot{I}_2 = \frac{z_s}{z_2} (\dot{I}_1 - j\dot{I}_{\Delta}) \text{ та } \dot{E}_1 = \dot{E}_2 = -Z_s (\dot{I}_1 - j\dot{I}_{\Delta}), \quad (3)$$

де $Z_s = \frac{jx_m z_2}{z_2 + jx_m}$ – загальний опір роторного кола відносно його ЕРС E_2 за схемою рис. 3, б.

Після підстановки цих виразів у систему (2) кількість рівнянь зводиться до двох відносно струмів $\dot{I}_1$ та $\dot{I}_\Delta$ кіл статора:

$$\begin{aligned} 1) \quad a\dot{U} &= b\dot{I}_1 + c\dot{I}_\Delta; \\ 2) \quad \dot{U} &= \dot{U}_\Delta + \dot{U}_{c\Delta} = -\dot{E}_\Delta + \dot{I}_\Delta Z_\Delta - jx_{c\Delta}\dot{I}_\Delta, \end{aligned} \quad (4)$$

де параметричні коефіцієнти дорівнюють

$$a = d = 1; \quad b = z_1 + Z_s; \quad c = -jZ_s; \quad e = jZ_s; \quad f = z_1 + Z_s - jx_{c\Delta}.$$

Тоді струми обмоток статора будуть:

$$\dot{I}_1 = \gamma \dot{U}; \quad \dot{I}_\Delta = \Delta \dot{U}, \quad (5)$$

де коефіцієнти γ та Δ визначаються за формулами:

$$\gamma = \frac{a \cdot f - c \cdot d}{b \cdot f - c \cdot e} = \frac{z_1 + Z_s(1+j) - jx_{c\Delta}}{z_1(z_1 + 2Z_s) - jx_{c\Delta}(z_1 + Z_s)}; \quad \Delta = \frac{b \cdot d - a \cdot e}{b \cdot f - c \cdot e} = \frac{z_1 + Z_s(1-j)}{z_1(z_1 + 2Z_s) - jx_{c\Delta}(z_1 + Z_s)}, \quad (6)$$

Висновки

Наведена методика дозволяє проводити розрахунки, за результатами яких будуються необхідні характеристики ОКД. Аналіз отриманих характеристик дає можливість визначати зміну параметрів ОКАД, схем його обмотки тощо для підвищення енергетичної ефективності двигуна та покращання його пуско-регулювальних характеристик.

Список літератури

1. Асинхронные электродвигатели серии 4А: справ. / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф В.И. Афонин, Е.А. Соболевская/ – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
2. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1976. – 782 с.
3. Компенсовані асинхронні машини: монографія / [В.І. Мішин, В.В. Каплун, Р.М. Чуенко та ін.]. – К.: КНУТД, 2012. – 221 с.
4. Копылов И.П. Электрические машины / И.П. Копылов. – М.: Высш. шк., 2002. – 607 с.
5. Мишин В. И. Эффект внутренней емкостной компенсации реактивной мощности в асинхронном электродвигателе / В.И. Мишин, Р.Н. Чуенко, В.В. Гаврилюк // Электротехника. – М., 2009. – №8. – С. 30–36.

ОДНОФАЗНЫЙ КОМПЕНСИРОВАННЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Р.Н. Чуенко, М.В. Мархонь

Предложена методика расчета характеристик однофазного компенсированного конденсаторного асинхронного двигателя.

Ключевые слова: *однофазный компенсированный конденсаторный асинхронный двигатель, схема замещения, уравнение, характеристика*

SINGLE-PHASE COMPENSATED INDUCTION MOTOR

R. Chuenko, M. Marhon

Single-phase compensated induction motor's characteristics calculation methodology is offered.

Keywords: *single-phase compensated induction motor, circuit model, equation, characteristic*

УДК 621.313

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН ЗА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

М.І. Рутило, кандидат технічних наук
Тернопільський національний педагогічний
університет імені В. Гнатюка
e-mail: rutmik@ukr.net

Проведено аналіз існуючих алгоритмів керування електроприводом технологічних машин (ТМ) щодо їх енергоефективності. Розроблено структуру адаптивного алгоритму для системи керування частотно-регульованим електроприводом ТМ без давачів технологічних параметрів.

Ключові слова: *технологічна установка, регульований електропривод, адаптивний алгоритм, система керування, обчислювальний блок, давач*

Аналіз енергетичних та експлуатаційних показників технологічних машин із частотно-регульованим асинхронним електроприводом для регулювання параметрів технологічних процесів та статистика їх відмов у процесі експлуатації дають підставу стверджувати про необхідність подальших досліджень, спрямованих на удосконалення існуючого та розробки нового обладнання.

Мета досліджень – розробка адаптивного алгоритму керування частотно-регульованим електроприводом технологічних машин для підвищення енергоефективності та експлуатаційної надійності їх роботи.

Матеріали та методика досліджень. Для регулювання швидкості обертання робочих органів ТМ із плавнозмінними режимами роботи (вентилятори, відцентрові насоси тощо) використовують частотні перетворювачі (ЧП) із скалярним керуванням, в яких існує можливість вибору відповідного за потреби закону регулювання (u/f - залежності) [1].

SINGLE-PHASE COMPENSATED INDUCTION MOTOR

R. Chuenko, M. Marhon

Single-phase compensated induction motor's characteristics calculation methodology is offered.

Keywords: *single-phase compensated induction motor, circuit model, equation, characteristic*

УДК 621.313

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН ЗА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

*М.І. Рутило, кандидат технічних наук
Тернопільський національний педагогічний
університет імені В. Гнатюка
e-mail: rutmik@ukr.net*

Проведено аналіз існуючих алгоритмів керування електроприводом технологічних машин (ТМ) щодо їх енергоефективності. Розроблено структуру адаптивного алгоритму для системи керування частотно-регульованим електроприводом ТМ без давачів технологічних параметрів.

Ключові слова: *технологічна установка, регульований електропривод, адаптивний алгоритм, система керування, обчислювальний блок, давач*

Аналіз енергетичних та експлуатаційних показників технологічних машин із частотно-регульованим асинхронним електроприводом для регулювання параметрів технологічних процесів та статистика їх відмов у процесі експлуатації дають підставу стверджувати про необхідність подальших досліджень, спрямованих на удосконалення існуючого та розробки нового обладнання.

Мета досліджень – розробка адаптивного алгоритму керування частотно-регульованим електроприводом технологічних машин для підвищення енергоефективності та експлуатаційної надійності їх роботи.

Матеріали та методика досліджень. Для регулювання швидкості обертання робочих органів ТМ із плавнозмінними режимами роботи (вентилятори, відцентрові насоси тощо) використовують частотні перетворювачі (ЧП) із скалярним керуванням, в яких існує можливість вибору відповідного за потреби закону регулювання (u/f - залежності) [1].

Проте у більшості випадків вони мають надто складні у реалізації алгоритми, а в інших випадках ці алгоритми задають наближений характер u/f - залежностей, і тому не забезпечують у повній мірі енергоефективних режимів роботи асинхронного електропривода (АЕП) [3, 5]. Ці твердження справедливі також стосовно регулювання продуктивності вентиляторних та насосних агрегатів, де характер механічного навантаження асинхронного двигуна може змінюватися від багатьох чинників.

Отже, чим точніше буде відтворюватися u/f - залежність засобами ЧП з асинхронним двигуном, тим вища буде їх енергоефективність.

Підвищення енергоефективності частотно-регульованого електропривода ТМ досягається шляхом мінімізації електричних втрат в асинхронному двигуні, що полягає в оптимізації магнітного потоку статора регулюванням величини прикладеної до нього напруги.

Результати досліджень. Зважаючи на викладене вище, нами розроблено адаптивний алгоритм формування u/f - характеристики, який базується на поданих нижче аналітичних виразах.

Напруга U_{onm}^* для створення необхідного потоку розраховується за формулою:

$$U_{onm}^* = E_1^* + I_1^* z_1^* \approx \Phi^* f^* + I_1^* z_1^*, \quad (1)$$

де $z_1^* = \sqrt{r_1^{*2} + (f^* x_1^*)^2}$; $z_1^* = z_1 / z_{1H}$; $r_1^* = r_1 / z_{1H}$; $x_1^* = x_1 / z_{1H}$; $z_{1H} = U_H / I_{1H}$,

$$U_{onm}^* \approx f^* I_1^* \cos \varphi_1 \sqrt{\frac{k_v^*}{k_h^* + k_{cm}^* \omega^{*\beta}}} + I_1^* \sqrt{r_1^{*2} + (f^* x_1^*)^2}; \quad \Delta u = U(f) - U_{onm}, \quad (2)$$

де k_h^* , k_v^* , k_{cm}^* – відносні значення складових втрат для номінального режиму роботи АД, змінних намагнічування та втрат у сталі [4].

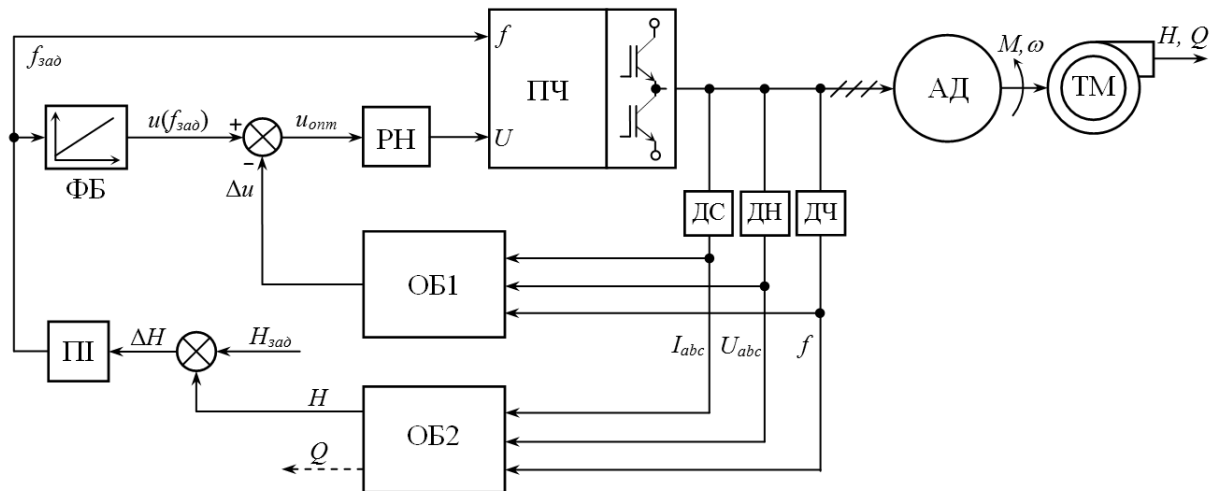
Для реалізації адаптивної системи частотного керування АЕП розроблено структуру алгоритму з обчислювальними блоками (ОБ1, ОБ2), блок-схема якого подана на рисунку. Функціонування ОБ1 у ній базується на виразах (2).

Крім цього, для вирішення задач, пов'язаних із синтезом автоматичних систем керування технологічними параметрами, нами розроблено алгоритм контролю напору вентиляторної установки, який базується на способі бездавачевої ідентифікації технологічних параметрів (H , Q). Обчислення їх відбувається в ОБ2 (див. рисунок) за вимірними значеннями енергетичних параметрів електропривода (U , I , f).

Блок-схема регульованого електропривода включає давачі струму ДС, напруги ДН і частоти ДЧ. Сигнали від вказаних давачів надходять до обчислювальних блоків. Споживана потужність вимірюється на інтервалі, рівному періоду змінної напруги $T_i = 1/f_i$, де f_i – частота основної гармоніки напруги живлення:

$$P_{вим} = \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} [I_a(t)U_a(t) + I_b(t)U_b(t) + I_c(t)U_c(t)] dt. \quad (3)$$

Вимірювання потужності здійснюється безпосередньо на виході напівпровідникового ПЧ.



Структурна схема адаптивної системи керування електроприводом технологічних машин

Необхідне розрахункове значення потужності на валу може бути отримане як:

$$P_{роз} = P_{вим} \eta(P_{вим}), \quad (4)$$

де $\eta(P_{вим})$ – залежність ККД від потужності на валу. Цей параметр можна визначити у формі загальної задачі апроксимації.

Визначення залежності споживаної потужності і ККД ТМ від продуктивності виконується так:

$$P_v = v^3 p_0 + v^2 p_1 Q_v + v p_2 Q_v^2; \quad (5)$$

$$\eta_v = k_1 v^3 + k_2 v^2 + k_3. \quad (6)$$

де $p_0, p_1, p_2, k_1, k_2, k_3$ – коефіцієнти апроксимації; $v = \omega/\omega_0$ – відносна кутова швидкість.

Після перетворення рівнянь (6) та (7) отримаємо:

$$Q_v^2 + Q_v \frac{p_1}{p_2} v + \frac{\eta_v P_v - p_0 v^3}{p_2 v} = 0. \quad (7)$$

Використовуючи напірно-витратні характеристики, за отриманими значеннями Q_v та v визначається розрахунковий напір H_v , а також H_{cv} з урахуванням статичної складової H_e у випадку використання насосного агрегата з гідромережею:

$$H_v = v^2 H_0 + v h_1 Q_v + h_2 Q_v^2; \quad (8)$$

$$H_{cv} = H_e + R_c Q_v^2, \quad (9)$$

де Q_v – продуктивність, м³/с; R_c – гідравлічний опір у мережі; h_1, h_2 – коефіцієнти апроксимації напірної характеристики вентилятора (насоса).

За виразами (7) – (9) в ОБ2 вираховується величина $H(Q)$, що порівнюється із заданим значенням $H_{зад}$. Сигнал похибки ΔH , який

подається на вхід пропорційно-інтегрального регулятора ПІ, а далі – до частотного перетворювача, є функцією задання частоти обертання.

Запропонована математична модель описує структуру поданого алгоритму і дозволяє проаналізувати стан системи та обчислювати основні технологічні параметри в системі «частотний перетворювач – асинхронний електродвигун – технологічна машина» без застосування давачів $H(Q)$.

Висновки

Розроблено структуру адаптивної системи керування електроприводом технологічних машин, що забезпечує підвищення його енергоефективності у широкому швидкісному діапазоні. Застосування способу бездавачової ідентифікації технологічних параметрів дає змогу підвищити надійність та швидкодію системи керування електроприводом, особливо під час її функціонування в агресивних та високотемпературних середовищах об'єктів керування, оскільки не потребує застосування додаткових кабельних ліній зв'язку давачів з апаратним контролером.

Список літератури

1. Костенко М.П. Электрические машины. Ч.2 / М.П. Костенко, Л.М. Пиотровский. – М.;Л.: Энергия, 1965. – 704 с.
2. Пат. 60176 Україна, МПК 7F01D 17/24. Спосіб керування технологічними параметрами турбомеханізмів / Корчемний М.О., Федорейко В.С., Понятишин В.З., Клендій П.Б., Нестеренко О.В., Рутило М.І. – № а2003021526; заявл. 21.02.2003; опубл. 15.09.2003, Бюл. № 9.
3. Петрушин В.С. Регулировочные характеристики асинхронного электродвигателя в частотном электроприводе при законах управления, обеспечивающих постоянство потокосцеплений / В.С. Петрушин // Электротехника і електромеханіка. – 2002. – №2. – С.53–55.
4. Рутило М. І. Моделювання регульованого електропривода вентиляційних установок з адаптивною структурою керування [Електронний ресурс] / М. І. Рутило // Енергетика і автоматика. – 2011. – № 2 (8). – Режим доступу до журналу : http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/eia/2011_2/11rmiasd.pdf.
5. Marino R., Peresada S., Tomci P. Global adaptive output feedback control of induction motors with uncertain motor resistance, IEEE Trans-on Automatic Control, vol.44, no.5, 1999, pp. 967-983.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ПО ЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Н.И. Рутыло

Проведен анализ существующих алгоритмов управления электроприводом технологических машин (ТМ) на предмет их энергоэффективности. Разработана структура адаптивного алгоритма для системы управления частотно-регулируемым электроприводом ТМ без датчиков технологических параметров.

Ключевые слова: технологическая установка, регулируемый электропривод, адаптивный алгоритм, система управления, вычислительный блок, датчик

ENERGY-EFFICIENT CONTROL OF ELECTRIC DRIVE TECHNOLOGICAL MACHINES BY ITS ENERGY PARAMETERS

M.I. Rutylo

The analysis of existing algorithms for controlling the electric drive technology machine for their energy efficiency. Created structure of adaptive algorithm for control system variable frequency drives technology machines without sensors of technological parameters.

Keywords: technological machine, electric drive adjustable, adaptive algorithm, the system control computer unit, sensor

УДК 356.24

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОБОЧИХ ПІДРАХУНКІВ ПРИ КАЛОРИМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

В.Є. Василенков, кандидат технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Наведено дослідження технологічного процесу визначення теплотворної властивості палив. Обґрунтовано доцільність обов'язкового врахування поправок на утворення сірчаної, азотної кислот і прихованої теплоти пароутворення, що впливає на реалізацію теплоти в практичних умовах, менше ніж реалізація теплоти по бомбі.

Ключові слова: теплотворна властивість палива, калориметр, бомба, елементарний склад палива, спалювання палива

Теплотворна здатність палива може бути розрахована як сума даних про теплотворну здатність горючих елементів, що складають паливо. Однак визначення теплотворної здатності подібними методами дає значну розбіжність із реальною теплотворною здатністю, яка знаходиться методом калориметрування.

Мета досліджень – обґрунтування врахування поправок у технологічний процес визначення теплотворної властивості палив.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проведено згідно з нормативними документами щодо визначення теплотворної властивості палива і порядку її обрахунків.

Ключевые слова: технологическая установка, регулируемый электропривод, адаптивный алгоритм, система управления, вычислительный блок, датчик

ENERGY-EFFICIENT CONTROL OF ELECTRIC DRIVE TECHNOLOGICAL MACHINES BY ITS ENERGY PARAMETERS

M.I. Rutylo

The analysis of existing algorithms for controlling the electric drive technology machine for their energy efficiency. Created structure of adaptive algorithm for control system variable frequency drives technology machines without sensors of technological parameters.

Keywords: technological machine, electric drive adjustable, adaptive algorithm, the system control computer unit, sensor

УДК 356.24

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОБОЧИХ ПІДРАХУНКІВ ПРИ КАЛОРИМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

В.Є. Василенков, кандидат технічних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Наведено дослідження технологічного процесу визначення теплотворної властивості палив. Обґрунтовано доцільність обов'язкового врахування поправок на утворення сірчаної, азотної кислот і прихованої теплоти пароутворення, що впливає на реалізацію теплоти в практичних умовах, менше ніж реалізація теплоти по бомбі.

Ключові слова: теплотворна властивість палива, калориметр, бомба, елементарний склад палива, спалювання палива

Теплотворна здатність палива може бути розрахована як сума даних про теплотворну здатність горючих елементів, що складають паливо. Однак визначення теплотворної здатності подібними методами дає значну розбіжність із реальною теплотворною здатністю, яка знаходиться методом калориметрування.

Мета досліджень – обґрунтування врахування поправок у технологічний процес визначення теплотворної властивості палив.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проведено згідно з нормативними документами щодо визначення теплотворної властивості палива і порядку її обрахунків.

Результати досліджень. Безпосереднє визначення теплотворної здатності палива визначається шляхом спалювання наважки палива в атмосфері кисню. Для цього використовують так звану калориметричну бомбу, Після того, як в бомбу покладено наважку палива і впущено кисень із тиском до 25 – 30 ат, через електричний ланцюг пропускається струм, запальний дріт і наважка згоряють. Виділяється тепло, що нагріває воду калориметра. Підвищення температури води визначається спеціальним термометром із точністю до 0,001°.

У паливі і балоні з киснем, звідки останній надходить у бомбу, є певна кількість азоту, що сприяє утворенню в бомбі азотної кислоти; точно так само летюча сірка, згораючи за наявності води, перетворюється в сірчану кислоту.

Утворення цих кислот супроводжується тепловиділенням, яке потрібно підрахувати і вирахувати з отриманої теплотворної здатності, оскільки в експлуатаційній практиці спалювання палива такі кислоти не утворюються. Вода, що створює кислоти, сама утворюється в бомбі за рахунок конденсації водяних парів. Щоб повністю забезпечити розчинення кислот у бомбу наливають перед дослідом 10 см³ дистильованої води.

При згорянні наважки палива тепло сприймається не тільки водою калориметра, але і всієї установкою, що складається із калориметричної посудини з наливою в неї водою, мішалки, термометра та бомби з її вмістом. Теплоємності окремих частин різні, тому попередньо бомбу тариують, спалюючи в ній речовину, теплотворна здатність якої точно відома і не змінюється. Калориметр, перебуваючи в кімнаті, навіть без спалювання палива залежно від температурних умов буде віддавати або сприймати тепло навколишнього середовища. Тому різниця температур, знайдена в інтервалі від початку спалювання до кінця підвищення температури води в калориметрі, ще не буде характеризувати теплотворну здатність палива. Треба ввести поправку на теплообмін приладу з навколишнім середовищем, оскільки за цей час він в свою чергу міг віддавати або сприймати тепло. Систематично записуючи температуру води протягом деякого часу до дослідів, під час дослідів і після, можна отримати цю поправку. Поправка визначиться на підставі виявлення величини зміни температури води в калориметрі тільки внаслідок впливу з навколишнім середовищем. Знаючи вагу запального дроту та його теплотворну здатність, можна внести поправку і на горіння дроту.

У результаті теплотворна здатність палива по бомбі аналітичної проби Q_6 , кал/г, визначається за такою формулою:

$$Q_6 = \frac{K[(t_n + h) - (t_0 + h_0) + \Delta t] - \sum q_b}{a}$$

де a – вага наважки палива, г; K – водний еквівалент калориметра, г; t_n – кінцева температура води після спалювання, °C; t_0 – початкова температура води перед спалюванням, °C; h і h_0 – поправки до показників термометрів (за тарировочними графіками), °C; b – вага запального дроту.

дроту, г; q – теплота згоряння запалу, приймається для сталюого дроту – 1600 кал/г, нікелевого – 775 кал/г, паперової швейної нитки – 4000 кал/г; $\sum q_b$ – сума теплоти згоряння запалу при застосуванні дроту з ниткою, кал; Δt – поправка на теплообмін приладу з навколишнім середовищем, °C.

Азот в калориметричну бомбу потрапляє разом із киснем з балона, а також з наважки палива. В результаті окислення азоту киснем за наявності води утворюється азотна кислота. Ґрунтуючись на результатах багаторічних дослідів, А. І. Карелін запропонував таку емпіричну формулу поправки на утворення азотної кислоти в заданих умовах: $Q_{\text{аз..кисл}} = 0,0015Q_6$ кал/г. Поправка затверджена відповідним ДСТУ.

При спалюванні горючої сірки, яка міститься у паливі, утворюється SO_2 і за наявності води – сірчана кислота H_2SO_4 . На кожен грам летючої сірки, яка міститься у паливі, при утворенні сірчаної кислоти виділяється 2 250 кал, або на 1 % – 22,5 кал. Таким чином, поправка становить 22,5 кал/г. Відраховуючи із величини теплотворної здатності аналітичної проби, отриманої по бомбі, затрати тепла на отримання кислот, визначають вищу теплотворну здатність палива по бомбі: $Q_6^B = Q_6 - 0,0015Q_6 - 22,5$ кал/г.

При експериментальному визначенні теплотворної здатності палива шляхом калориметрированія пара води, що утворилася в результаті реакції згоряння, конденсується на холодних стінках бомби, повертаючи приховану теплоту пароутворення. Тому, теплотворна здатність палива, визначена в калориметричній бомбі, буде вище тієї кількості тепла, яку можна реалізувати в практичних умовах спалювання палива в топках котлів або печей.

Зв'язок між теплотворною здатністю вищого і нижчого меж, враховуючи втрату прихованої теплоти пароутворення, може бути визначено так. Вагова кількість водяних парів, утворена в результаті згоряння водню, визначається добутком ваги водню в 1 кг палива на 9, оскільки при згорянні 1 кг водню утворюється 9 кг води. Сюди додається вага води, що знаходиться в паливі і випарувана при його згорянні. Цифрове значення прихованої теплоти пароутворення повинно прийматися з обліком парціального тиску і приблизно становить 600 ккал/кг.

Теплотворна здатність робочого палива Q_b^P , ккал/кг, визначається за формулою:

$$Q_b^P = Q_b^B - 600 \left(\frac{9H^P + W^P}{100} \right) = Q_b^B - 6(9H^P + W^P).$$

Висновки

На основі дослідження технологічного процесу визначення теплотворної властивості палив обґрунтовано доцільність обов'язкового врахування поправок на утворення сірчаної, азотної кислот і прихованої теплоти пароутворення, що впливає на реалізацію теплоти в практичних умовах, менше ніж реалізація теплоти по бомбі.

Список літератури

1. Общая теплотехника / [И.Т.Швец, В.И. Голубинский, Н.Ф. Кираковский и др.] – К.: Изд – во Киев. ун – та, 1963. – 561 с.
2. Рабинович О.М. Котельные агрегаты /О.М. Рабинович – М.–Л.: Машгиз, 1963. – 460 с.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАБОЧИХ РАСЧЕТОВ ПРИ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В.Е. Василенков

Приведены исследования технологического процесса определения теплотворных свойств топлив. Обоснована целесообразность обязательного учета поправок на образование серной, азотной кислот и скрытой теплоты парообразования, что влияет на реализацию теплоты в практических условиях, меньше чем реализация теплоты по бомбе.

Ключевые слова: *теплотворная свойство топлива, калориметр, бомба, элементарный состав топлива, сжигание топлива*

IMPROVING THE ACCURACY OF WORKING ESTIMATES AT CALORIMETER STUDIES

V. Vasylenkov

Presents the research of process determining calorific properties of fuels. The expediency of the amendment on the mandatory formation of sulfuric, nitric acids and the latent heat of vaporization, which affects the implementation of heat in practical terms, is less than the realization of the heat of the bomb.

Keywords: *the calorific value of fuel properties, calorimeter bomb elemental composition of the fuel combustion*

УДК 536.2

ПОБУДОВА СІТКИ В ANSYS MESHING ДЛЯ CFD МОДЕЛЕЙ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

В.І. Троханяк, аспірант*
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Розроблено методику та проаналізовано побудову 2D сітки використовуючи метод кінцевих елементів в ANSYS Meshing для

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

Список літератури

1. Общая теплотехника / [И.Т.Швец, В.И. Голубинский, Н.Ф. Кираковский и др.] – К.: Изд – во Киев. ун – та, 1963. – 561 с.
2. Рабинович О.М. Котельные агрегаты /О.М. Рабинович – М.–Л.: Машгиз, 1963. – 460 с.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАБОЧИХ РАСЧЕТОВ ПРИ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В.Е. Василенков

Приведены исследования технологического процесса определения теплотворных свойств топлив. Обоснована целесообразность обязательного учета поправок на образование серной, азотной кислот и скрытой теплоты парообразования, что влияет на реализацию теплоты в практических условиях, меньше чем реализация теплоты по бомбе.

Ключевые слова: *теплотворная свойство топлива, калориметр, бомба, элементарный состав топлива, сжигание топлива*

IMPROVING THE ACCURACY OF WORKING ESTIMATES AT CALORIMETER STUDIES

V. Vasylenkov

Presents the research of process determining calorific properties of fuels. The expediency of the amendment on the mandatory formation of sulfuric, nitric acids and the latent heat of vaporization, which affects the implementation of heat in practical terms, is less than the realization of the heat of the bomb.

Keywords: *the calorific value of fuel properties, calorimeter bomb elemental composition of the fuel combustion*

УДК 536.2

ПОБУДОВА СІТКИ В ANSYS MESHING ДЛЯ CFD МОДЕЛЕЙ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

В.І. Троханяк, аспірант*
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Розроблено методику та проаналізовано побудову 2D сітки використовуючи метод кінцевих елементів в ANSYS Meshing для

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

теплообмінників при коридорному розташуванні пучка труб. Розглянуто особливості та розроблено алгоритм побудови сітки для задач гідро- газодинаміки і тепло- масопереносу. Вибрано найбільш оптимальні та якісні сітки для CFD моделей.

Ключові слова: *метод кінцевих елементів, межовий шар, загальна товщина, плавний перехід, гібридна сітка, чотирикутна сітка*

При чисельному розрахунку задач гідродинаміки і теплопереносу використовується метод кінцевих елементів (МКЕ). В англійській літературі його називають Finite Elements Method (FEM). Суть методу полягає в наближеному вирішенні варіаційної задачі. Для формулювання цього завдання використовуємо поняття функціонала. Оператор $I[f(x)]$ називається функціоналом, який заданий на деякій множині функцій, якщо для кожної функції $f(x)$ ставиться у відповідність певне числове значення $I[f(x)]$ [2]. Іншими словами, функціонал є як би «функцією від функції». Часто функціонали мають вигляд інтегралів. Варіаційна задача полягає у знаходженні такої функції $f(x)$, яка б відповідала мінімальному значенню функціонала $I[f(x)]$. Вигляд цього функціонала різний для різних завдань, який підбирається спеціальним вибором.

Нині МКЕ знайшов широке застосування при вирішенні задач теплопровідності в твердих тілах і при розрахунках на міцність. Однак він може бути застосований і при розрахунку течій рідин і газів [1]. Відомі також методи, які поєднують у собі елементи методу кінцевих об'ємів і методу кінцевих елементів [3, 5]. Поєднання цих методів дозволяє використовувати більш широкий ряд розрахункових сіток (тетрагональні сітки, піраміди, призми, поліедри), що необхідно при вирішенні завдань зі складною геометрією. Цей підхід використовують CFD пакети Ansys CFX, Ansys Fluent, Star-CD, Star-CCM +, Comsol та ін.

Пакет ANSYS має безліч застосувань практично для всіх галузей сучасної науки і техніки, в тому числі в сільськогосподарській галузі. Розглянемо деякі особливості побудови сітки для задач гідро- газодинаміки, тепло- масопереносу – створення її в ANSYS Meshing, зокрема 2D. ANSYS Meshing відмінно підходить для створення сітки для CFD додатків ANSYS - CFX або FLUENT. Побудова сітки проводилася в сіткогенераторі ANSYS Meshing на базі платформи Workbench.

Існує багато методів для оцінки якості сітки. Основними критеріями якості елементів (осередків) для Fluent є Orthogonal Quality і Skewness, які наведені в табл. 1. Рекомендується використовувати сіткові моделі, для яких мінімальне значення Orthogonal Quality > 0.1 або максимальне значення Skewness «перекіс» < 0.95 [4]. «Перекіс» – це міра зміни елемента в порівнянні з початковою його формою, яка знаходиться в діапазоні від 0 (Відмінна) до 1 (Неприпустима). Елементи низької якості можуть призвести до неточних результатів, або в деяких випадках рішення може не зійтися!

1. Діапазон показника якості сітки Orthogonal Quality та Skewness.

Критерії якості сітки	Якість сітки					
	Відмінна	Дуже гарна	Гарна	Задовольняє	Погана	Не припустима
Orthogonal Quality	0,95–1,00	0,70–0,95	0,20–0,70	0,10–0,20	0,001–0,10	0,00–0,001
Skewness	0,00–0,25	0,25–0,50	0,50–0,80	0,80–0,95	0,95–0,98	0,98–1,00

Мета досліджень – створення 2D сітки МКЕ таким чином, щоб проаналізувати область обтікання трубок у відповідних точках та поверхнях (температура, теплові та гідродинамічні потоки, тиск), похибка при цьому має бути не більше 5 %, при бажаній точності ~ 1 %.

Матеріали та методика досліджень. Розглянемо кожухотрубний теплообмінник із кожухом прямокутного перерізу при поперечному обтіканні пучків труб діаметром $d=10$ мм традиційного коридорного розташування $A \times B 1.5 \times 1.5$ (рис. 1).

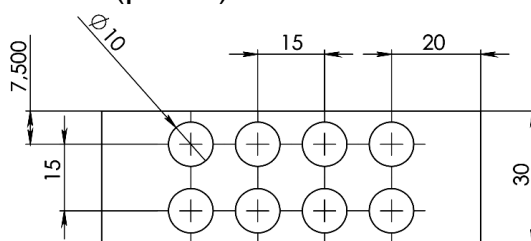


Рис. 1. Схема традиційного коридорного розташування пучка труб

Робоча область ANSYS Meshing Application використовує підхід ділення. Різний "Метод розбивки" може бути застосований до кожної частини геометрії. Сітки в окремих тілах можуть бути несумісними. Спільні сітки створюються в одному тілі. Всі сітки зберігаються в центральній базі даних. Існує багато методів для 2D геометрії [5].

В ANSYS Meshing Platform для 2D геометрії є чотири методи, які можуть бути застосовані для поверхневих тіл або оболонок:

- автоматичний (Automatic Method) (Quadrilateral Dominant);
- всі триангулярні елементи (All Triangles);
- рівномірний розподіл чотирикутних і триангулярних елементів;
- рівномірний розподіл чотирикутних елементів.

Результати досліджень. При побудові сітки для теплообмінного апарата використано локальне управління сіткою. Створювались постійні шари в межевому шарі (МШ) при різній кількості шарів (табл. 2) для отримання повної товщини, тобто товщини першого шару ($2 \cdot 10^{-4}$ м), а для кожного наступного шару товщина вибиралася постійною.

Для всіх геометрій та видів побудови сітки вибиралися однакові параметри, а саме:

- мінімальний розмір елемента $5 \cdot 10^{-4}$ м;
- максимальний розмір грані $1 \cdot 10^{-3}$ м;
- кривизна кута 450.

2. Параметри побудови сітки 2D МКЕ для теплообмінного апарата традиційного коридорного розташування пучків труб.

Показник якості сітки (Orthogonal Quality)	0,68	0,64	0,58	0,63	0,7	0,75
Показник якості сітки (Skewness)	0,49	0,53	0,70	0,65	0,63	0,4
Кількість елементів, шт.	22354	17452	10771	10504	8098	16460
Кількість вузлів, шт.	14676	10209	11232	10963	8569	8705
Межовий шар, шт.	12	4	4	3	-	-
Товщина першого шару, м	$2 \cdot 10^{-4}$	-	-	$2 \cdot 10^{-4}$	-	-
Метод побудови сітки	Гібридна	Гібридна	Квадратна	Квадратна	Квадратна	Гібридна
Метод побудови межового шару	Загальна товщина	Плавний перехід	Плавний перехід	Загальна товщина	-	-

Традиційне коридорне розташування пучка труб. На рис. 2 видно, що застосовується гібридна сітка: в області навколо поверхні трубок використовується чотирикутна сітка і трикутна сітка у всій іншій області. Чотирикутна сітка забезпечує більшу точність градієнтів в'язкості поблизу поверхні труб.

При побудові гібридної сітки було виявлено, що використовуючи побудову межового шару методом загальної товщини (ЗТ) (Total Thickness), товщиною першого шару $2 \cdot 10^{-4}$ м при кількості від 3 до 12 шарів якість сітки за двома параметрами залишається незмінною і знаходиться в межах Orthogonal Quality 0,68, Skewness 0,49 (див. табл. 2). Моделюючи гідродинаміку обтікання трубок, вибір кількості шарів має велике значення для аналізу відривних зон. Тому, рекомендується задавати максимальну кількість шарів – до 12 шарів (рис. 2). Така побудова вимагає використовувати велику кількість елементів порівняно з квадратною сіткою.

Із застосуванням методу плавного переходу (ПП) (Smooth Transition) найякіснішою буде сітка, що містить 4 шари (Orthogonal Quality 0,64, Skewness 0,53). При збільшенні або зменшенні кількості шарів якість розрахунку суттєво знижується.

Побудова квадратних елементів сітки займає значно більше розрахункового часу та не дає бажаного результату для цієї геометрії. Найякісніша буде сітка при використанні методу побудови межового шару ЗТ (рис. 3), який становить Orthogonal Quality 0,63, Skewness 0,65.

Розроблені алгоритми та методики побудови оптимальних сіток були використані при тепловому та гідравлічному розрахунку теплообмінних апаратів різного призначення – теплообмінників для охолодження вентиляційного повітря у пташниках, теплообмінників для утилізації теплоти відпрацьованих газів когенераційних установок та інших теплообмінних апаратів.

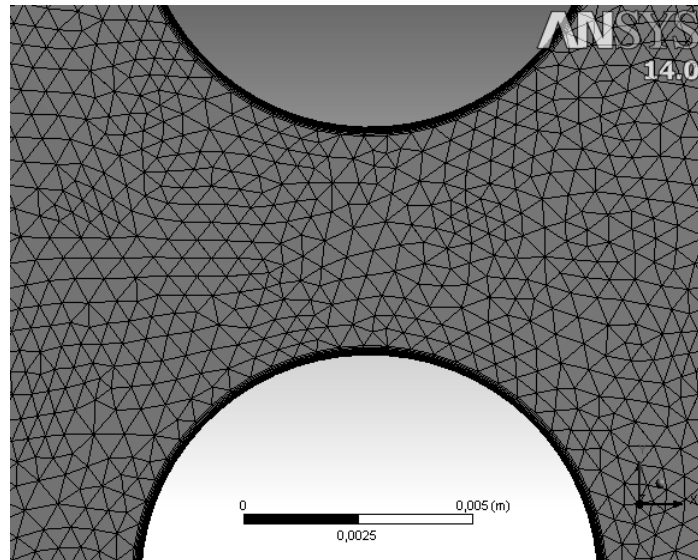


Рис. 2. Гібридна сітка, побудована методом межового шару 3Т, у кількості 12 шарів з початковою товщиною $2 \cdot 10^{-4}$

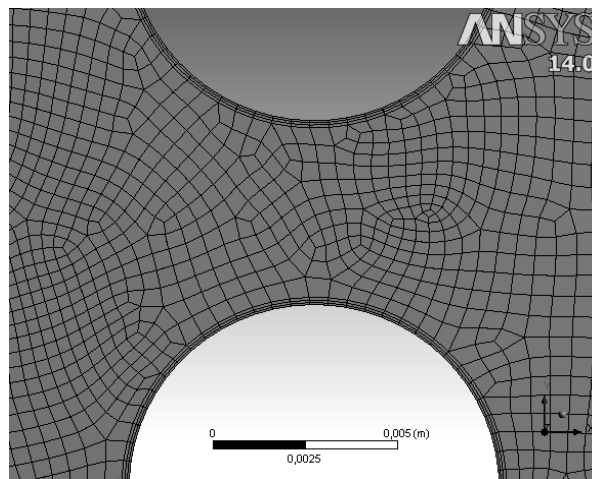


Рис. 3. Чотирикутна сітка, побудована методом межового шару 3Т, у кількості 3 шари з початковою товщиною $2 \cdot 10^{-4}$

Висновки

1. Створено алгоритм та проаналізовано побудову 2D сітки МКЕ в ANSYS Meshing для традиційного коридорного розташування пучка труб.
2. Розглянуто особливості побудови сітки для задач гідрогазодинаміки і тепло- масопереносу при поперечному обтіканні пучків труб.
3. У результаті розробленого підходу вибрано найбільш оптимальні та якісні сітки для CFD моделей, що дає змогу отримати достовірні та точні результати розрахунку теплообмінників різного призначення.

Список літератури

1. Власова Е.А. Приближённые методы математической физики / Е.А. Власова, В.С. Зарубин, Г.Н. Кувыркин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 700 с.

2. Дульнев Г.Н. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена / Г.Н. Дульнев, В.Г. Парфенов, А.В. Сигалов. – М: Высш. шк., 1990. – 207 с.
3. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
4. ANSYS Meshing User's Guide. / ANSYS Inc.– ANSYS Meshing Release 15.– 2013.
5. J.H. Ferziger, M. Perić. Computational Methods for Fluid Dynamics 3., rev. ed. - Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Tokyo: Springer, 2002.

ПОСТРОЕНИЕ СЕТКИ В ANSYS MESHING ДЛЯ CFD МОДЕЛЕЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.И. Троханяк

Разработана методика и проанализированы построение 2D сетки используя метод конечных элементов в ANSYS Meshing для теплообменников при коридорном расположении пучка труб. Рассмотрены особенности и разработан алгоритм построения сетки для задач гидро- газодинамики и тепло- массопереноса. Выбраны наиболее оптимальные и качественные сетки для CFD моделей.

Ключевые слова: *метод конечных элементов, пограничный слой, общая толщина, плавный переход, гибридная сетка, четырехугольная сетка*

CONSTRUCTION MESH IN ANSYS MESHING MODELS FOR CFD FINITE ELEMENTS METHOD

V. Trokhanyak

The method of construction and analyzed using 2D grid finite element method in ANSYS Meshing for heat exchangers in the corridor location of the beam pipe. The features and mesh construction algorithm for problems of hydraulic gas dynamics and thermal mass transfer. Your best and high quality meshes for CFD models.

Keywords: *finite elements method, boundary layer, total thickness, smooth transition, hybrid mesh, quadrilateral mesh*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ПОСИЛЕННЯ АНТИМІКРОБНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРЕПАРАТУ «БІОДЕЗ»**

Т.В. Ткачук, інженер

Т.С. Книжка, кандидат технічних наук

e-mail: knizhkatatyana@mail.ru

Досліджено вплив ультрафіолетового випромінювання на антимікробні властивості водних розчинів препарату «Біодез». Визначено ефективну експозицію ультрафіолетового опромінення дезінфектанту.

Ключові слова: ультрафіолетове випромінювання, дезінфектант, фотоактивація, опромінення водних розчинів

Проведені дослідження з опромінення рідких середовищ ультрафіолетовим випромінюванням довели ефективність впливу цього методу на активацію властивостей опромінених речовин [1–3]. Оскільки ультрафіолетове випромінювання є природним та враховуючи невисоку вартість такого методу впливу на речовини, виникає інтерес проведення досліджень впливу ультрафіолетового випромінювання на водні розчини дезінфектанту та визначення ефективних режимів його опромінення.

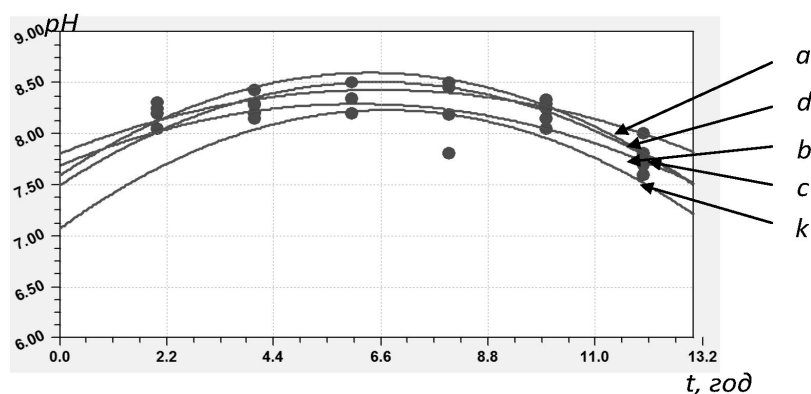
Мета досліджень – вивчення впливу оптичного випромінювання ультрафіолетового діапазону на антимікробні властивості водних розчинів дезінфектанту та визначення ефективної експозиції ультрафіолетового опромінення дезінфектанту.

Матеріали та методика досліджень. Як джерело ультрафіолетового випромінювання використовували лампу ДРТ-400 із хвиловим максимумом $\lambda=365$ нм. Відстань між джерелом випромінювання і поверхнею рідини становила 0,25 м. Фотоактивована рідина вносилася на агаризоване середовище відразу після висівання на нього бактерій. Ступінь росту бактерій фіксувався через 24 год після обробки середовища з бактеріями фотоактивованою рідиною.

Для культивування мікроорганізмів використовували м'ясо-пептонний агар – універсальне щільне середовище на натуральній основі, яке складається з м'ясо-пептонного бульйону та агару (0,5–2 %). Матеріал із бактеріями *Staf. aureus* відбирали від хворих тварин з гноєм, слизом із глотки, мокротинням, сечею і кров'ю.

Результати досліджень. З метою дослідження механізму впливу ультрафіолетового випромінювання на фізичні характеристики розчинів дезінфектантів на кафедрі електропривода та електротехнологій НУБіП України проводилися вимірювання рН, ОВП, солевмісту та електропровідності розчинів дезінфектанту відразу після опромінення і

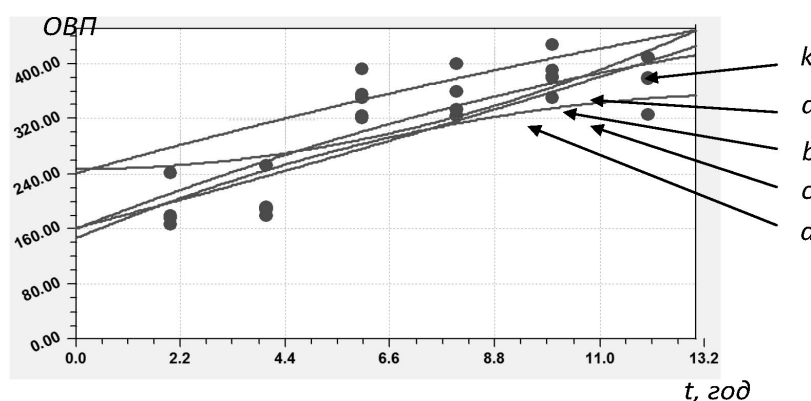
протягом періоду післядії. Графічні залежності зміни характеристик дезінфектанту наведено на рис. 1.



$$pH_k = 7,07 + 0,35t - 0,03t^2; \quad pH_2 = 7,68 + 0,19t - 0,02t^2;$$

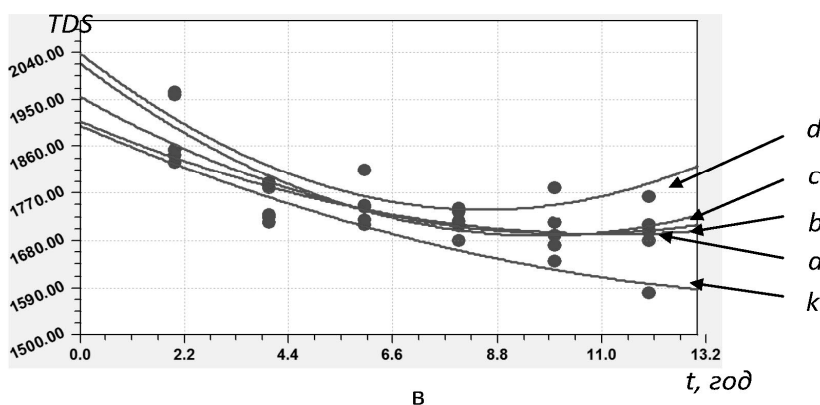
$$pH_5 = 7,8 + 0,19t - 0,01t^2; \quad pH_{10} = 7,5 + 0,31t - 0,02t^2;$$

$$pH_{15} = 7,59 + 0,32t - 0,02t^2$$



$$OBП_k = 247 + 1,78 \cdot 10^{-15}t + 1,19t^2; \quad OBП_2 = 160 + 26,96t - 0,58t^2;$$

$$OBП_5 = 161 + 18,13t + 0,16t^2; \quad OBП_{10} = 146 + 28,6t - 0,98t^2; \quad OBП_{15} = 162 + 19,18t - 0,25t^2$$



$$TDS_k = 1900 - 39,38t + 1,18t^2; \quad TDS_2 = 1909 - 38,59t + 1,72t^2;$$

$$TDS_5 = 1955 - 50,82t + 2,45t^2; \quad TDS_{10} = 2019 - 68,16t + 3,51t^2;$$

$$TDS_{15} = 2038 - 70,68t + 4,16t^2.$$

Рис.1. Залежність рН (а), ОБП (б), та солевмісту (в) «Біодезу» при різній експозиції опромінення від часу зберігання розчину:

к – контроль; а – тривалість опромінення 2 хв; б – тривалість опромінення 5 хв; с – тривалість опромінення 10 хв; д – тривалість опромінення 15 хв

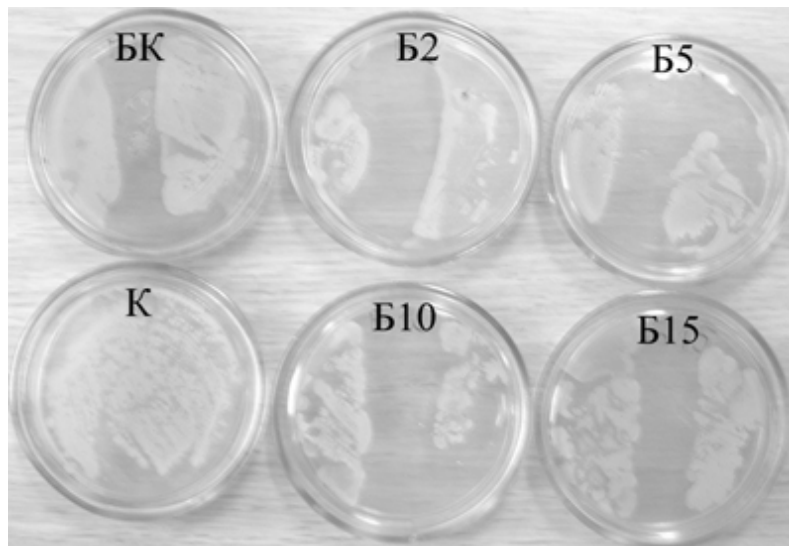


Рис. 2. Вплив «Біодезу» на ростові властивості стафілокока:

К – контроль; БК – зразок оброблено неопроміненим «Біодезом» з концентрацією 1 %; Б2 – зразок оброблено опроміненим «Біодезом» з експозицією 2 хв; Б5 – теж, з експозицією 5 хв; Б10 – з експозицією 10 хв; Б15 – з експозицією 15 хв

Аналіз отриманих результатів показує, що ультрафіолетове випромінювання з експозицією 5–15 хв значно змінює рН і ОВП водного розчину дезінфектанту. Збільшення тривалості опромінення незначно змінює досліджувані параметри.

На кафедрі мікробіології НУБіП України нами проводилися мікробіологічні дослідження із визначення впливу на ростові властивості стафілокока дезінфектанту «Біодез», а також опромінених ультрафіолетовим випромінюванням з різною експозицією водного розчину цього дезінфектанту.

З метою виявлення економічного ефекту використання дезінфектанту після опромінення його концентрація була взята в 10 разів менша рекомендованої, а саме «Біодезу» – 0,5 %. Час експозиції розчину дезінфектанту – 2, 5, 10 і 15 хв.

На рис. 2 наведено результати досліджень.

Встановлено, що опромінення з експозицією від 5 до 15 хв розчину «Біодезу» ефективно посилює його антимікробні властивості. Максимум антимікробної дії спостерігається для розчину з експозицією 10 хв.

Висновки

Ультрафіолетове випромінювання значно змінює рН та ОВП водних розчинів дезінфектантів. Інтенсивність зміни водневих показників є характерною для ультрафіолетового опромінення з експозицією 5–15 хв.

Опромінення з експозицією 10 хв розчину «Біодезу» ефективно пригнічує ростові властивості мікроорганізмів. Концентрація опроміненого водного розчину дезінфектанту може бути в 10 разів меншою, ніж неопроміненого.

Список літератури

1. Бондаренко Т. В. Вплив фотоактивованої соняшникової олії на бактерії *Klebsiella pneumoniae* / Т. В. Бондаренко, Л. С. Червінський // Праці Таврійського держ. агротех. ун-ту. – 2008. – Т. 4, № 8. – С. 106–110.
2. Гончарук В. В. Гетерофазная структура воды / В. В. Гончарук, В. А. Багрий, В. В. Архипчук // Химия и технология воды. – 2005. – Т. 27, № 4. – С. 399–411.
3. Червінський Л. С. Науково-технічні проблеми застосування оптичного випромінювання в сільськогосподарському виробництві / Л. С. Червінський, Т. С. Книжка // Науковий вісник НУБіП України. – 2012. – Вип. 174. – С. 59–65.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА УСИЛЕНИЕ АНТИМИКРОБНЫХ СВОЙСТВ ПРЕПАРАТА «БИОДЕЗ»

Т.В. Ткачук, Т.С. Книжка

Исследовано влияние ультрафиолетового излучения на антимикробные свойства водных растворов препарата «Биодез». Определена эффективная экспозиция ультрафиолетового облучения дезинфектанта.

Ключевые слова: ультрафиолетовое излучение, дезинфектант, фотоактивация, облучение водных растворов

RESEARCH ULTRAVIOLET RADIATION AT ENCHANCING THE ANTIMICROBIAL PROPERTIES OF THE DRUG «БИОДЕЗ»

T. Tkachuk, T. Knizhka

The effect of ultraviolet radiation on the antimicrobial properties of aqueous solutions of the drug "Biodez." Defined effective disinfectant exposure to ultraviolet radiation.

Keywords: ultraviolet radiation, disinfectant, photoactivation, irradiation of aqueous solutions

УДК536.24

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ АКУМУЛЯТОРА ТЕПЛОТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ

Є.О. Антипов, аспірант*
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Проведено експериментальне дослідження ефективності розробленої конструкції акумулятора теплоти фазового переходу акумулюючого матеріалу. Підтверджено ефективність нової конструкції такого акумулятора. Визначено оптимальні відстані

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

Список літератури

1. Бондаренко Т. В. Вплив фотоактивованої соняшникової олії на бактерії *Klebsiella pneumoniae* / Т. В. Бондаренко, Л. С. Червінський // Праці Таврійського держ. агротех. ун-ту. – 2008. – Т. 4, № 8. – С. 106–110.
2. Гончарук В. В. Гетерофазная структура воды / В. В. Гончарук, В. А. Багрий, В. В. Архипчук // Химия и технология воды. – 2005. – Т. 27, № 4. – С. 399–411.
3. Червінський Л. С. Науково-технічні проблеми застосування оптичного випромінювання в сільськогосподарському виробництві / Л. С. Червінський, Т. С. Книжка // Науковий вісник НУБіП України. – 2012. – Вип. 174. – С. 59–65.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА УСИЛЕНИЕ АНТИМИКРОБНЫХ СВОЙСТВ ПРЕПАРАТА «БИОДЕЗ»

Т.В. Ткачук, Т.С. Книжка

Исследовано влияние ультрафиолетового излучения на антимикробные свойства водных растворов препарата «Биодез». Определена эффективная экспозиция ультрафиолетового облучения дезинфектанта.

Ключевые слова: ультрафиолетовое излучение, дезинфектант, фотоактивация, облучение водных растворов

RESEARCH ULTRAVIOLET RADIATION AT ENCHANCING THE ANTIMICROBIAL PROPERTIES OF THE DRUG «БИОДЕЗ»

T. Tkachuk, T. Knizhka

The effect of ultraviolet radiation on the antimicrobial properties of aqueous solutions of the drug "Biodez." Defined effective disinfectant exposure to ultraviolet radiation.

Keywords: ultraviolet radiation, disinfectant, photoactivation, irradiation of aqueous solutions

УДК536.24

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ АКУМУЛЯТОРА ТЕПЛОТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ

Є.О. Антипов, аспірант*
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Проведено експериментальне дослідження ефективності розробленої конструкції акумулятора теплоти фазового переходу акумулюючого матеріалу. Підтверджено ефективність нової конструкції такого акумулятора. Визначено оптимальні відстані

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

розміщення теплообмінної поверхні у корпусі теплоакумулятора.

Ключові слова: *тепловий акумулятор, акумулюючий матеріал, фазовий перехід, теплообмінна поверхня*

Ефективне використання теплової енергії при експлуатації систем тепlopостачання неможливо без вирішення проблеми акумулювання теплоти. Найперспективнішим є застосування акумуляторів тепла фазового переходу (АТФП), оскільки забезпечується висока щільність накопиченої енергії, невеликі перепади температур і стабільна температура на виході з теплового акумулятора.

Як теплоакумулюючий матеріал (ТАМ) для АТФП можуть бути використані: кристалогідрати (в основному глауберова сіль), природний віск, парафіни, вуглеводні граничного ряду, насичені жири органічних кислот [1]. Теплоакумулюючі матеріали на основі твердих парафінів, церезинів є інертними та витримують значну кількість циклів плавлення-кристалізація без зміни теплофізичних властивостей.

Однак у парафінів, як і в багатьох органічних ТАМ, є один істотний недолік – низький коефіцієнт теплопровідності [3], який призводить до ускладнення конструкції, оскільки виникає необхідність вжиття заходів або засобів щодо поліпшення теплообміну між ТАМ і теплоносієм.

Мета досліджень – експериментальне підтвердження ефективності розробленої нової конструкції акумулятора теплоти фазового переходу за умови збереження динаміки зарядно-розрядних характеристик теплообміну відомих конструкцій теплоакумуляторів [1] з одночасним підвищенням експлуатаційної надійності такого акумулятора.

Матеріали та методика досліджень. Відомо, що конвективні теплові потоки спрямовані вгору [2], що обумовлено різною щільністю рідкого (біля стінок нагрівальних труб) і холодного ТАМ. Тому, для зменшення об'єму непрогрітого акумулюючого матеріалу до мінімуму та підвищення теплоакумуляційної здатності акумулятора теплоти фазового переходу нової конструкції, дно його корпусу виконуємо хвилеподібної форми (рис. 1), розмір (радіус) якої визначається за формулою:

$$R_{\text{хв}} = L_{\text{міжтр.}}/4, \quad (1)$$

де $L_{\text{міжтр.}}$ – міжосьова відстань сусідніх нагрівальних труб по горизонталі, мм, але, при цьому знаходиться в межах:

$$1,4D_{\text{тр.зов.}} \geq R_{\text{хв.мін}} \geq 2,5r_{\text{тр.зов.}}, \quad (2)$$

де $r_{\text{тр.зов.}}$ – радіус нагрівальної труби за зовнішнім обміром, мм, $D_{\text{тр.зов.}}$ – діаметр нагрівальної труби за зовнішнім обміром, мм, а нагрівальні труби першого ярусу такого акумулятора розміщуємо поблизу його дна та стінок на осьовій відстані $R_{\text{хв.}}$.

Формула (1) справедлива за умови виготовлення теплообмінної поверхні з труб, розташованих у рівномірному шаховому порядку паралельно до дна корпусу акумулятора, а самого корпусу – у формі паралелепіпеда.

Результати досліджень. Використовуючи як теплообмінну поверхню пучок металевих труб діаметром ½ дюйма та розташували їх

у рівномірному шаховому порядку паралельно та поблизу дна та стінок корпусу акумулятора, скориставшись формулами (1) – (2), отримаємо осьову відстань, на якій розміщені нагрівальні труби першого ярусу такого акумулятора, яка становить $R_{хв} = 30$ мм.

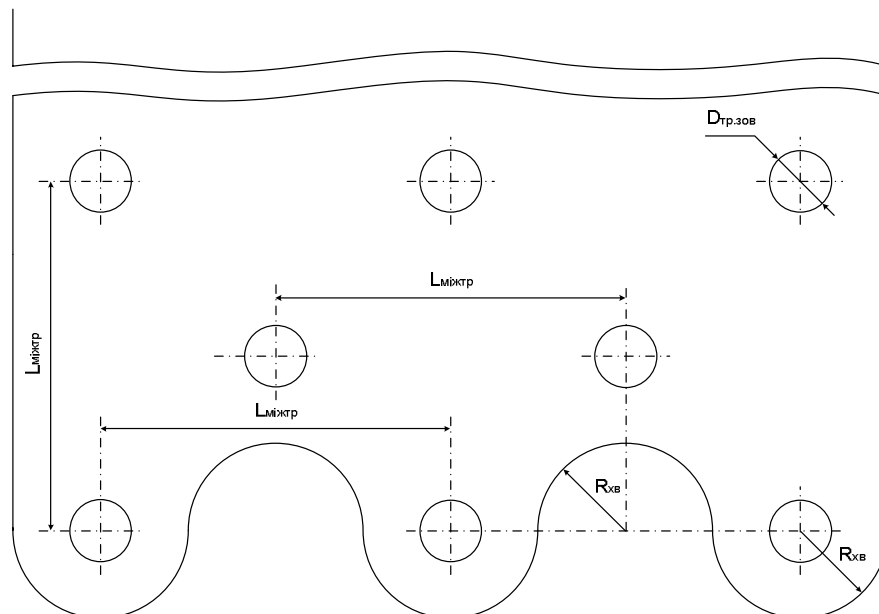


Рис. 1. Оптимальні відстані розташування теплообмінних труб в АТФП (вигляд із торця)

Як бачимо із рис. 2, за 8 год роботи акумулятора тепла на основі парафіну (період найменшої вартості електроенергії при зонному обліку енергоспоживання) в центральній зоні акумулятора теплоакумлюючий матеріал прогрівся рівномірно, однак між першою і другою, а також, другою і третьою нагрівальними трубами першого ярусу акумулятора теплоти фазового переходу залишився шар непрогрітого теплоакумлюючого матеріалу у вигляді напівсфер висотою 60 мм (рис. 3).

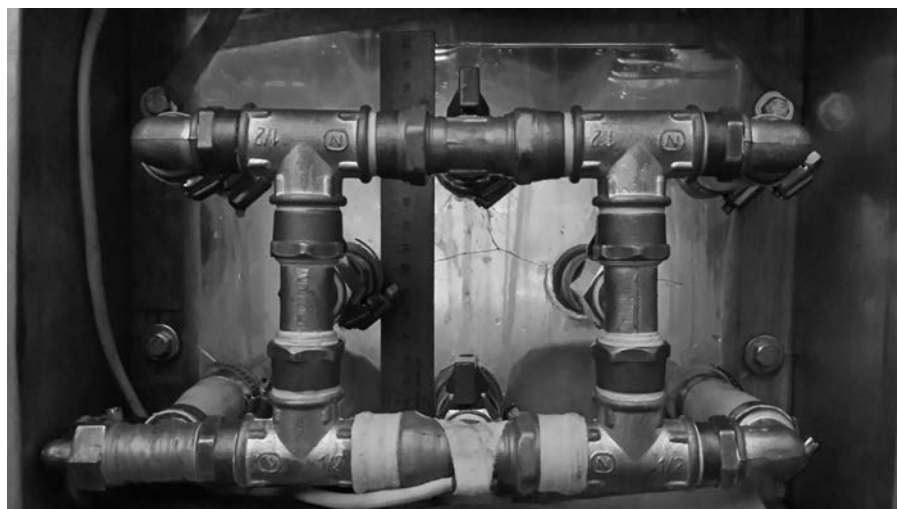


Рис. 2. Стан ТАМ через 8 год роботи АТФП

Із рис. 3 видно, що зазначена відстань повністю підтверджується експериментальним дослідженням процесу плавлення ТАМ під час “заряду” теплоаккумулятора.



Рис. 3. Наявність “мертвих зон” в АТФП

Підсумовуючи зазначене, можна констатувати, що перевищення відстані $R_{хв}$ більш ніж $1,4D_{тр.зов}$ недоцільно, оскільки знижується інтенсивність процесу зарядки аккумулятора. Зниження $R_{хв}$ менш $2,5r_{тр.зов}$ також недоцільно, оскільки для підтримки необхідної ефективності процесу довелося б збільшити кількість нагрівальних труб, що зменшить час “зарядки” такого аккумулятора. Однак у цьому випадку знижується об’єм акумулюючого матеріалу, а звідси й акумуляційна здатність такого аккумулятора теплоти фазового переходу.

Висновки

1. Експериментально підтверджено розраховані оптимальні межі розміщення теплообмінної поверхні всередині корпуса теплоаккумулятора, перевищення яких є недоцільним.
2. Виконання хвилеподібної форми дна корпуса аккумулятора зменшує об’єм непрогрітого акумулюючого матеріалу до мінімуму, що підвищує теплоаккумуляційну здатність аккумулятора теплоти фазового переходу.

Список літератури

1. Бекман Г. Тепловое аккумулярование энергии / Г. Бекман, П. Гилли. – М.: Мир, 1987. – 468 с.
2. Горобец В.Г. Компьютерное моделирование процессов тепломассопереноса в сезонном аккумуляторе теплоты. / В.Г. Горобец, Е.А. Антипов // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №1(14). – С. 15 – 19.
3. Направления создания микрокапсулированных теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом. / Ю.С. Альбинская, С.М. Усачев, Ф. Ресснер, О.Б. Рудаков // Научный Вестник ВГАСУ. – 2013. – Вып. №2(7). – 185 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ АККУМУЛЯТОРА ТЕПЛОТЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Е.А. Антипов

Проведено экспериментальное исследование эффективности разработанной конструкции аккумулятора теплоты фазового перехода аккумулирующего материала. Подтверждена эффективность новой конструкции такого аккумулятора. Определены оптимальные расстояния размещения теплообменной поверхности в корпусе теплоаккумулятора.

Ключевые слова: *тепловой аккумулятор, аккумулирующий материал, фазовый переход, теплообменная поверхность*

EXPERIMENTAL STUDY OF EFFICIENCY OF NEW CONSTRUCTION THE HEAT ACCUMULATOR OF PHASE TRANSFORMATIONS OF ACCUMULATING MATERIAL

E. Antypov

Carried out experimental study of the efficacy of the developed design the heat accumulator of phase transformations of accumulating material. Confirmed effectiveness of the new construction such accumulator. The optimal distance placing the heat exchange surface in the body heat storage is defined.

Keywords: *heat accumulator, accumulating material, phase transformations, heat exchange surface*

УДК 631.3:621.1

УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЧНИМИ НАСОСНИМИ СТАНЦІЯМИ ПРИ БАШТОВІЙ СИСТЕМІ ВОДОПОСТАЧАННЯ

В.Є. Василенков, кандидат технічних наук²⁰
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Наведено дослідження принципів електричних схем керування насосними станціями в різних режимах, обґрунтовано вибір електроконтактних манометрів і їх сумісну роботу з датчиками рівня при баштовій системі водопостачання.

Ключові слова: *насосна станція, витрата води, заглибний насос, водонапірна башта, схема водопостачання*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ АККУМУЛЯТОРА ТЕПЛОТЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Е.А. Антипов

Проведено экспериментальное исследование эффективности разработанной конструкции аккумулятора теплоты фазового перехода аккумулирующего материала. Подтверждена эффективность новой конструкции такого аккумулятора. Определены оптимальные расстояния размещения теплообменной поверхности в корпусе теплоаккумулятора.

Ключевые слова: *тепловой аккумулятор, аккумулирующий материал, фазовый переход, теплообменная поверхность*

EXPERIMENTAL STUDY OF EFFICIENCY OF NEW CONSTRUCTION THE HEAT ACCUMULATOR OF PHASE TRANSFORMATIONS OF ACCUMULATING MATERIAL

E. Antypov

Carried out experimental study of the efficacy of the developed design the heat accumulator of phase transformations of accumulating material. Confirmed effectiveness of the new construction such accumulator. The optimal distance placing the heat exchange surface in the body heat storage is defined.

Keywords: *heat accumulator, accumulating material, phase transformations, heat exchange surface*

УДК 631.3:621.1

УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЧНИМИ НАСОСНИМИ СТАНЦІЯМИ ПРИ БАШТОВІЙ СИСТЕМІ ВОДОПОСТАЧАННЯ

В.Є. Василенков, кандидат технічних наук²⁰
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Наведено дослідження принципів електричних схем керування насосними станціями в різних режимах, обґрунтовано вибір електроконтактних манометрів і їх сумісну роботу з датчиками рівня при баштовій системі водопостачання.

Ключові слова: *насосна станція, витрата води, заглибний насос, водонапірна башта, схема водопостачання*

Для управління автоматизованими насосними станціями баштового типу використовуються електродні датчики рівня. Ці датчики працюють надійно при позитивних температурах і відмовляють у роботі на морозі, оскільки електроди покриваються льодом і, крім того, швидко окислюються. Тому, на нових станціях керування заглибними насосами для контролю за рівнем води в водонапірних баштах передбачають електроконтактні манометри, встановлені в приміщенні насосної станції.

Мета досліджень – обґрунтування режимних функцій для керування і захисту насосних станцій на основі дослідження їх принципових електричних схем при баштовій системі водопостачання.

Матеріали та методика досліджень. На основі дослідження принципових електричних схем керування насосними станціями обґрунтовано вибір електроконтактних манометрів і їх сумісну роботу з датчиками рівня.

Результати досліджень. Електроконтактний манометр реєструє перепад статичного тиску в системі при зміні рівня води в баку на 1 – 2 м. Управління роботою автоматизованої насосної установки з баштою може виконуватися автоматично від датчика *SP* (рис. 1, розробка Інституту механізації, Біларусь) і вручну перемикачем *SA* чи дистанційно з диспетчерського пункту. Для автоматичного управління перемикачем *SA* ставлять у положення *A*. Якщо тиск у напірному трубопроводі нижче відповідного нижнього рівня води в баку, контакти манометра *SP1* замкнуться, а *SP2* – розімкнуться. Реле *K1* включається із затримкою за рахунок конденсатора *C*. Ця ж ємність запобігає помилкове відключення реле *K1* при короткочасному замиканні контакту *SP2* під час гідравлічного удару в гідроприводі, якщо манометр підключений без гідрокомпенсатора. Реле *K1* підключає магнітний пускач *K2* і насос починає працювати.

При підвищенні тиску в трубопроводі до значення, що відповідає верхньому рівню води в баку, при роботі насоса замикається контакт *SP2* і шунтує (перимикає) реле *K1*, яке відключає пускач *K2*. При місцевому управлінні установкою перемикач *SA* ставлять у положення *P* або *O*. При дистанційному управлінні використовують виносну кнопкову станцію або контакти реле телемеханічного зв'язку підключають замість контактів *SP1* і *SP2*. Для захисту від перевантажень і неповнофазних режимів електродвигунів заглибних насосів використовують швидкодіючий захист із характеристиками, незалежними від температури навколишнього середовища. При перевантаженні сигнал надходить на вхід *RC* – контуру від відповідних трансформаторів *T1...T3* (рис.1, б). Стабілітрон *V4* дозволяє одержати обернено пропорційну залежність витримки часу від струму перевантаження. Струм перевантаження, перетворений у напругу постійного струму, змінює витримку на спрацювання реле *K3*, ввімкнутого в ланцюг витоку польового транзистора *V5*. Після збудження реле *K3* за допомогою свого замикаючого контакту встає на саможивлення, а розмикаючим контактом *K3* відключає реле *K1*.

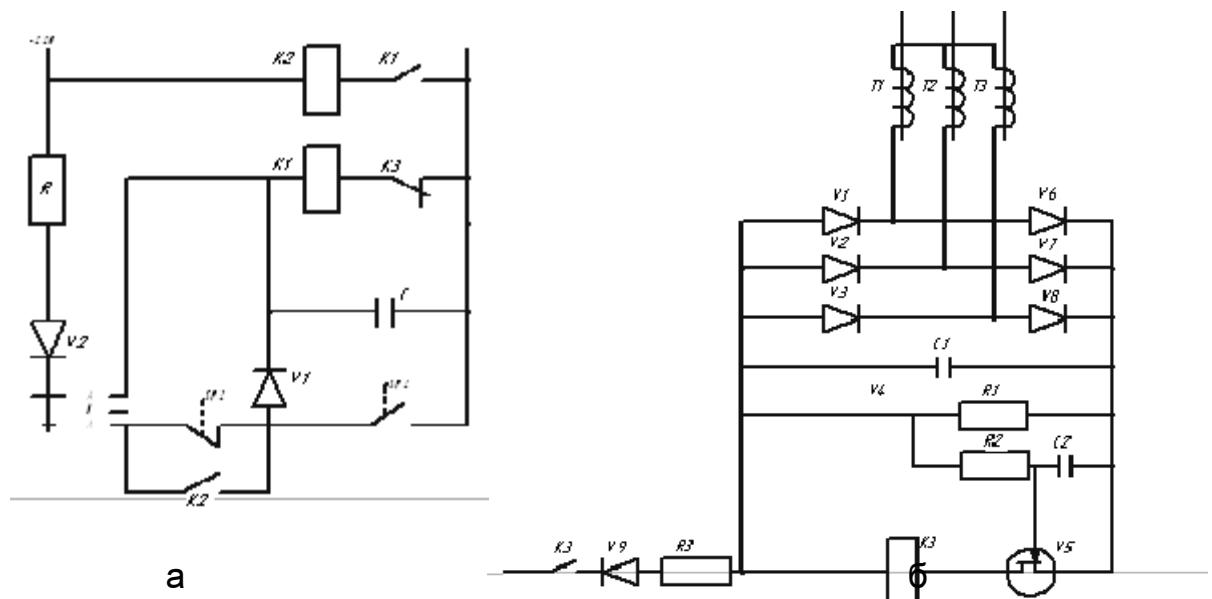


Рис.1. Електрична схема керування заглибним електронасосом:
а – керування двигуном електроконтактним манометром; б – струмовий захист електродвигуна

Для управління відцентровими свердловинними насосами водопідйому з занурюваними електродвигунами потужністю 1 – 65 кВт випускається комплектний пристрій «Каскад» (рис. 2, а). Пристрій складається із ящика керування, датчика сухого ходу *SL1* електродного типу та електроконтактного манометра. Всередині ящика керування вмонтована пускозахисна апаратура (силова і логічна частини схеми у вигляді блока керування *E1FQ* типу БОН 9200). Контакт типу «датчик сухого ходу» (рис. 2, б) виконаний у вигляді металевго стержня, в якому місце під'єднання проводу обпресовано поліетиленом. Датчик рівня має два датчики сухого ходу. Дистанційне керування забезпечується за допомогою реле включення *KL2* і реле відключення *KL1*. Для автоматичного управління за рівнем у водонапірній башті перемикач на блоці керування встановлюють у положення «Водопідйом», перемикач *S1* – у положення «Автоматичне управління» АУ, автоматичний вимикач *QF1* – у положення «Включено». За відсутності води в баку водонапірної башти (контакти *SL3* і *SL2* датчика рівнів не омиваються водою) включається електронасос. При досягненні рівнем води контакту *SL3* електронасос відключається і включається повторно при опусканні рівня нижче контактів *SL2*. Для автоматичного управління в режимі дренажу перемикач блока керування ставлять у положення «дренаж», перемикач *S1* – у положення АУ, включають вимикач *QF1*. Електронасос вмикається, якщо рівень дренажних вод у свердловині піднімається до контакту *SL3*, і відключається при зниженні рівня дренажних вод нижче контакту *SL2*.

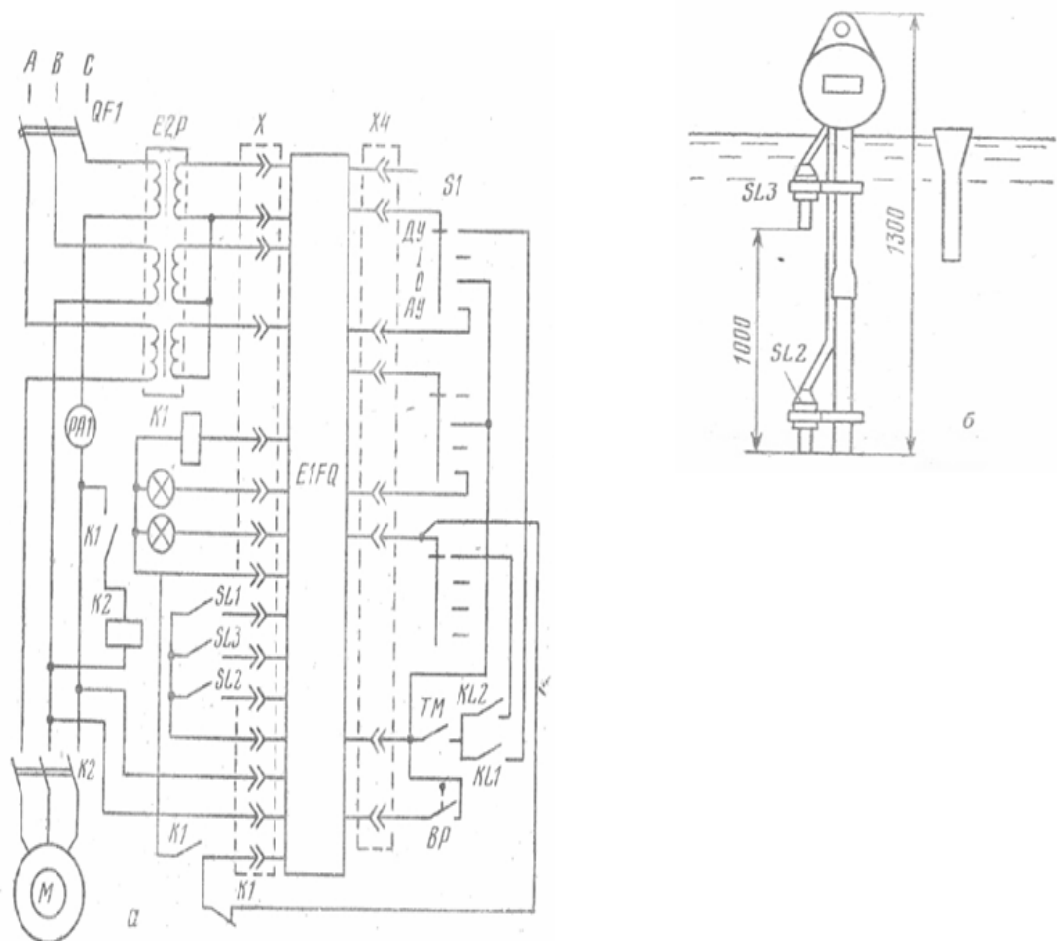


Рис.2. Принципова електрична схема комплексного пристрою «Каскад»:

а – схема; б – датчик сухого ходу

Для автоматичного управління за тиском необхідно в групу «ЯУД» блока керування на рознімі «час роботи насоса» встановити перемичку в положення, відповідно до часу роботи насоса, необхідному для заповнення водонапірного бака водою (до 90 хв). Перемикач *S1* потрібно встановити в положення *AY*, включити *QF1* і встановити рухомий контакт електроконтактного манометра так, щоб при розборі води в баку водонапірної башти нижче контрольованого рівня мало місце надійне автоматичне включення електронасоса.

Висновки

На основі дослідження принципів електричних схем керування насосними станціями обґрунтовано режимні функції насосних станцій при їх автоматичному управлінні, доцільність вибору електроконтактних манометрів і їх сумісну роботу з датчиками рівня, коли відбувається перепад статичного тиску в системі при зміні рівня води в баку на 1–2 м.

Список литературы

1. Найманов А.Я. Водоснабжение. / А.Я. Найманов. – Донецк: Норд – прес, 2004. – 649 с.

2. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А.К. Запольський. – К.: Вища шк., 2005. – 671 с.

3. Фоменков А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий / А.П. Фоменков. – М.: Колос, 1984. – 283 с.

УПРАВЛЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИМИ НАСОСНЫМИ СТАНЦИЯМИ ПРИ БАШЕННОЙ СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В.Е. Василенков

Приведены исследования принципиальных электрических схем управления насосными станциями в различных режимах, обоснован выбор электроконтактных манометров и их совместная работа с датчиками уровня при башенной системе водоснабжения.

Ключевые слова: насосная станция, расход воды, погружной насос, водонапорная башня, схема водоснабжения

CONTROL AT AUTOMATIC PUMP STATION TOWER WATER SYSTEM

V. Vasylenkov

An investigation of schematic diagrams control pumping stations in different modes, a choice grounded electric gauges and their joint work with sensors at the tower of the water supply system.

Keywords: pumping station, water consumption, submersible pump, water tower, water supply scheme

УДК 535.3

ЭФФЕКТИВНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

***Н.Г. Шкода, кандидат физико-математических наук
Институт химии поверхности НАН Украины***

***С.В. Шостак, кандидат физико-математических наук
Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины
e-mail: nni.elektrik@gmail.com***

Рассмотрена эффективная диэлектрическая проницаемость системы, состоящей из металлических сфер, случайно расположенных в диэлектрической среде. Отмечено, что с увеличением объемной фракции частиц в системе становятся существенными эффекты

© Н.Г. Шкода, С.В. Шостак, 2015

2. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А.К. Запольський. – К.: Вища шк., 2005. – 671 с.

3. Фоменков А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий / А.П. Фоменков. – М.: Колос, 1984. – 283 с.

УПРАВЛЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИМИ НАСОСНЫМИ СТАНЦИЯМИ ПРИ БАШЕННОЙ СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В.Е. Василенков

Приведены исследования принципиальных электрических схем управления насосными станциями в различных режимах, обоснован выбор электроконтактных манометров и их совместная работа с датчиками уровня при башенной системе водоснабжения.

***Ключевые слова:* насосная станция, расход воды, погружной насос, водонапорная башня, схема водоснабжения**

CONTROL AT AUTOMATIC PUMP STATION TOWER WATER SYSTEM

V. Vasylenkov

An investigation of schematic diagrams control pumping stations in different modes, a choice grounded electric gauges and their joint work with sensors at the tower of the water supply system.

***Keywords:* pumping station, water consumption, submersible pump, water tower, water supply scheme**

УДК 535.3

ЭФФЕКТИВНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

***Н.Г. Шкода, кандидат физико-математических наук
Институт химии поверхности НАН Украины***

***С.В. Шостак, кандидат физико-математических наук
Национальный университет биоресурсов
и природопользования Украины
e-mail: nni.elektrik@gmail.com***

Рассмотрена эффективная диэлектрическая проницаемость системы, состоящей из металлических сфер, случайно расположенных в диэлектрической среде. Отмечено, что с увеличением объемной фракции частиц в системе становятся существенными эффекты

© Н.Г. Шкода, С.В. Шостак, 2015

мультипольного взаимодействия между частицами. С учетом диполь-дипольного взаимодействия между частицами двух сортов рассмотрено поведение частотной зависимости мнимой части эффективной диэлектрической проницаемости системы.

Ключевые слова: *эффективная диэлектрическая проницаемость, металлические сферы, диэлектрическая среда, мультипольное взаимодействие*

Расчет частотно-зависимой эффективной диэлектрической функции композита представляет старую, но все еще не решенную задачу [1,2]. Существует много различных приближенных подходов к ее решению [3–5], но нет теории, которая обеспечивала бы полное количественное согласие с соответствующими экспериментальными данными. В статье рассматривается матричная дисперсная система с металлическими сферическими включениями, случайным образом распределенными в диэлектрической матрице. Эффективная диэлектрическая функция $\tilde{\epsilon}$ такой системы при малых концентрациях частиц $f < 0,05$ ($f = \frac{4}{3}\pi n_0 r$; r – радиус включений; n_0 – их концентрация) представляется формулой Максвелла-Гарнетта (МГ) [2]. При концентрациях $f > 0,05$ имеет место существенное отклонение полученных результатов от приближения МГ из-за взаимодействия между включениями.

Цель исследований – обобщение метода, описанного в [6], для случая композита, содержащего сферические металлические включения двух различных размеров (R_a и R_b). Учитывается лишь парное мультипольное взаимодействие между включениями (первая поправка к приближению МГ).

Материалы и методика исследований. В работе были использованы механизмы и закономерности поглощения и рассеивания электромагнитного излучения отдельными металлическими сферическими частицами с учетом мультипольного взаимодействия между ними.

Результаты исследований. Рассмотрим однородную диэлектрическую матрицу с включенными в нее сферическими частицами различного типа (обозначаемыми индексами $a, b, \dots$). Диэлектрическая проницаемость матрицы – ϵ_0 , а диэлектрические постоянные частиц – $\epsilon_a, \epsilon_b, \dots$. Пусть число сфер типа a – N_a , типа b – $N_b, \dots$. Общее число частиц $N = \sum_a N_a$. Система находится во внешнем переменном электрическом поле с длиной волны, значительно превышающей радиусы сфер и средние расстояния между частицами; $n_a = N_a / V$, $n_b = N_b / V, \dots$ – концентрации частиц сорта $a, b, \dots$

Обобщая метод кластерного разложения [3–5], можно получить следующее соотношение для эффективной диэлектрической проницаемости системы [6–8]:

$$\frac{\tilde{\varepsilon} + 2\varepsilon_0}{\tilde{\varepsilon} - \varepsilon_0} = \frac{1}{\frac{4\pi}{3} \sum_a n_a \alpha_a} - \frac{1}{\left(\sum_a n_a \alpha_a \right)^2} \cdot \sum_{a,b} n_a n_b \int_0^\infty R^2 dR \Phi_{ab}(R) \left[\beta_{ab}^{\parallel}(R) + 2\beta_{ab}^{\perp}(R) \right], \quad (1)$$

где $\alpha_a = \frac{\varepsilon_a - \varepsilon_0}{\varepsilon_a + 2\varepsilon_0} r_a^3$ – дипольная поляризуемость отдельной частицы сорта a ; $\Phi_{ab}(R)$ – двухчастичная функция распределения частиц в матрице; r_a – радиус частицы a , $R = |\vec{R}_a - \vec{R}_b|$; $\vec{R}_a$ и $\vec{R}_b$ – центры сфер a и b соответственно; β и $\beta^{\perp}$ – продольная и поперечная части двухчастичной поляризуемости. Принимая во внимание только парные диполь-дипольные взаимодействия между частицами, получаем [6–8]:

$$\begin{aligned} \beta_{ab} &= \alpha_a \left[X_{10}^{(a)}(R) - 1 - \frac{2\alpha_b}{R^3} \right]; \quad \beta_{ab}^{\perp} = \alpha_a \left[X_{11}^{(a)}(R) - 1 + \frac{\alpha_b}{R^3} \right]; \\ X_{10}^{(a)} &= \frac{1 + 2\alpha_b R^{-3}}{1 - 4\alpha_a \alpha_b R^{-6}}; \quad X_{11}^{(a)} = \frac{1 - \alpha_b R^{-3}}{1 - \alpha_a \alpha_b R^{-6}}. \end{aligned} \quad (2)$$

В этом подходе возможно обобщение на случай высших парных мультипольных взаимодействий [7], а также на случай многочастичных взаимодействий. Сходимость интеграла в выражении (1) в пределе $N \rightarrow \infty$, $V \rightarrow \infty$, ($N/V = \text{const}$) детально рассмотрена в [4]. Используя простейшее приближение для двухчастичной функции распределения $\Phi_{ab}(R)$:

$$\Phi(R) = \begin{cases} 0, & \text{когда } R < r_a + r_b; \\ 1, & \text{когда } R \geq r_a + r_b, \end{cases} \quad (3)$$

и ограничиваясь случаем двух сортов частиц различного радиуса, когда $n_a = n_b = n_0$, $\varepsilon_a = \varepsilon_b = \varepsilon$, $B_a = B_b = \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + 2\varepsilon_0}$, $\Delta_{ab} = \Delta = \frac{r_b}{r_a} < 1$, получаем из (1) – (3) [6,7]:

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon_0 \left[1 + \frac{3f_0(1 + \Delta^3)}{B^{-1}f_0(1 + \Delta^3) - \frac{2}{3}f_0 D} \right], \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} D &= \left(\frac{1 + \Delta^6}{1 + \Delta^3} \right) \ln \frac{8 + b}{8 - 2B} + \frac{\Delta^3}{2(1 + \Delta^3)} \cdot \\ &\cdot \left[\left(\Delta^{3/4} + \Delta^{-3/4} \right)^2 \ln \frac{(1 + \Delta)^3 + B\Delta^{3/2}}{(1 + \Delta)^3 - 2B\Delta^{3/2}} - \left(\Delta^{3/4} - \Delta^{-3/4} \right)^2 \ln \frac{(1 + \Delta)^3 - B\Delta^{3/2}}{(1 + \Delta)^3 + 2B\Delta^{3/2}} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

и $f_0 = \frac{4}{3}\pi n_0 r_b^3$ – коэффициент заполнения включений ($n_1 = n_2 = n_0$), $\Delta = \frac{r_a}{r_b} < 1$,

а диэлектрическая функция металлических сфер соответствует модели Друде [2]:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon'_\infty + i\varepsilon''_\infty - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\gamma)}, \quad (6)$$

где ω_p – плазменная частота свободных электронов; γ – частота их затухания.

Отметим, что в частном случае $\Delta = 1$, $\varepsilon''_\infty = 0$ и $\gamma = 0$ мы получаем частоты поверхностных дипольных плазмонов:

$$\omega^2 = \omega_s^2 \frac{1 - 2\rho^3}{1 - 2\rho^3 B(\infty)}; \quad \omega_\perp^2 = \omega_s^2 \frac{1 + \rho^3}{1 + \rho^3 B(\infty)}; \quad B(\infty) = \frac{\varepsilon'_\infty - \varepsilon_0}{\varepsilon'_\infty + 2\varepsilon_0}, \quad (7)$$

где $\rho = \frac{r}{R}$, $\omega_s = \frac{\omega_p}{\sqrt{\varepsilon'_\infty + 2\varepsilon_0}}$ – частота поверхностного плазмона отдельной частицы.

Остановимся теперь на случае $\Delta = 1$. Из (4) и (5) следует, что $\tilde{\varepsilon}$ можно получить из соотношения

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon_0 \left[1 + \frac{3fB}{1 - fB - \frac{2}{3}fB \ln \frac{8+B}{8-2B}} \right], \quad (7)$$

при $f = 2f_0$, которое приводит к приближению МГ, когда членом с логарифмом в знаменателе (7) можно пренебречь [6]. Этот член связан с парным диполь-дипольным взаимодействием между частицами. Его учет приводит к появлению граничной полосы частот поглощения вместо одной частоты ω_s в системе. Действительно, при $\Delta = 1$, $\varepsilon''_\infty = 0$ и $\gamma \rightarrow 0$ из (6) следует, что частица может поглощать на двух (ω и $\omega_\perp$) частотах, величины которых существенно зависят от расстояния R между фиксированными частицами и любыми другими частицами системы. Так, при $R \rightarrow \infty$, $\omega = \omega_\perp = \omega_s$, а при $R = 2R_0$ (минимальное расстояние между частицами) эти частоты определяют границы непрерывного спектра поглощения и находятся из соотношений:

$$\bar{\omega}^2 = \frac{\omega_p^2}{\varepsilon'_\infty + 3\varepsilon_0}; \quad \bar{\omega}_\perp^2 = \frac{\omega_p^2}{\varepsilon'_\infty + \frac{5}{3}\varepsilon_0}. \quad (9)$$

Выводы

Проведенные расчеты показали, что спектральная зависимость $\tilde{\varepsilon}(\omega)$ композита получается усреднением по всем возможным положениям пар частиц в матрице. Отметим, что в металлическом композите при $f=0,1$ и более, тонкая структура спектра наблюдается только в случае учета парных диполь-дипольных взаимодействий [4, 6]. Учет высших парных взаимодействий между включениями

(квадрупольних $l=l'=2$, октупольних $l=l'=3$ і т.д.) може бути зроблений в межах нашого розгляду, приводячи до частичного згладжування частотних залежностей $\text{Im} \tilde{\epsilon}(\omega)$. К такому ж результату можуть приводити і інші фактори – многочастичні взаємодії, кластеризація частинок і т.д. В разі $r_b \ll r_a$ ($\Delta \rightarrow 0$) $\tilde{\epsilon}$ можна визначити з (7) при $f=f_0$, т.е. внесок частинок малого радіуса (r_b) в $\tilde{\epsilon}$ знехтуємо.

Список літератури

1. Boren C.F. and Huffman P.R. Absorption and Scattering of Light by Small Particles. – N.Y.: Wiley, 1983 / Переклад: Борен К. Поглинання і розсіяння світла малими частинками / Борен К., Хафмен Д. – М.: Мир, 1986. – 664 с.
2. Kreibig U. Optical properties of metal clusters / Kreibig U., Vollmer M. // Springer Series in Material Science 25, Springer, Berlin, 1995.
3. Finkelberg V.M. The virial expansion in the problem of the electrostatic polarization of a many-body system / Finkelberg V.M. // Sov. Phys. Dokl. – 1964. – V.8. – P. 907–909.
4. Cichocki B. Dielectric Constant of Polarizable, Nonpolar Fluids and Suspensions / Cichocki B., Felderhof B.U. // J. Stat. Phys. – 1988. – V.53, № 1–2. – P. 499–521.
5. Felderhof B.U. Effective transport properties of composites of spheres / Felderhof B.U. // Physica A. – 1994. – V.207. – P.13–18.
6. Grechko L.G. Dielectric Function of Matrix Disperse Systems with Metallic Inclusions. Account of Multipole Interaction between Inclusions / Grechko L.G., Blank A.Yu., Motrich V.V., Pinchuk A.O., Garanina L.V. // Radiophysics&Radioastronomy. – 1997. – V.1. – № 2. – P. 19–27.
7. Felderhof B.U. Multipolar corrections to the Clausius-Mossotti formula for the effective dielectric constant of a polydisperse suspension of spheres / Felderhof B.U., Jones R.B. // Physica B. – 1986. – V.62. – P. 231–237.
8. Grechko L.G. Electromagnetic Response of Interacting System of Metallic Particles / Grechko L.G., Pustovit V.N., Boiko V.V. // Radiophysics&Radioastronomy. – 1998. – V.3. – № 2. – P. 245–248.

ЕФЕКТИВНА ДІЕЛЕКТРИЧНА ПРОНИКНІСТЬ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ З МЕТАЛЕВИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ

Н.Г. Шкода, С.В.Шостак

Розглянуто ефективну діелектричну проникність системи, яка складається з металевих сфер, що випадковим чином розміщені в діелектричному середовищі. Відмічено, що зі збільшенням об'ємної фракції частинок у системі стають суттєвими ефекти мультипольної взаємодії між частинками. З врахуванням диполь-дипольної взаємодії між частинками двох сортів розглянуто поведінку частотної залежності уявної частини ефективної діелектричної проникності системи.

Ключові слова: ефективна діелектрична проникність, металеві сфери, діелектричне середовище, мультипольна взаємодія

EFFECTIVE PERMITTIVITY OF DISPERSE SYSTEM WITH METALLIC INCLUSIONS

N. Shkoda, S. Shostak

The effective permittivity is examined for a system of metallic spheres randomly embedded in an uniform dielectric medium. It is noted that with the metal volume fraction increase the role of pair multipole interactions between inclusions becomes significant. The frequency dependence of the imaginary part of the effective permittivity of the system is calculated with account of the dipole-dipole interaction between particles of two different kinds

Keywords: *effective permittivity, metallic spheres, dielectric medium, multipole interaction*

УДК 532

ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ ВОЛОКОННИХ СВІТЛОВОДІВ ЯК ОБ'ЄКТ ВИВЧЕННЯ

О.П. Зінькевич, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет харчових технологій

О.М. Нещадим, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України

В.М. Сафонов, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет харчових технологій
e-mail: oleksandr_neshchadym@mail.ru

Розглянуто процес формування волоконних світловодів та вплив нестабільності зовнішніх умов на експлуатаційні характеристики готової продукції. Вивчено основні методи витягування волоконних світловодів, та підхід до побудови реологічних моделей зон формування.

Ключові слова: *волоконні світловоди, область прядомісті, гідродинамічна стійкість, вільна поверхня, реологічна модель, зони формування, розрив, розпад на каплі, методи витягування*

Експлуатаційні характеристики готової продукції в повній мірі залежать від ефективного функціонування автоматичних систем управління технологічних процесів витягування волоконних світловодів (ВС). Для оперативного управління процесом необхідно знати: стаціонарний процес формування, відгук процесу на нестабільність

EFFECTIVE PERMITTIVITY OF DISPERSE SYSTEM WITH METALLIC INCLUSIONS

N. Shkoda, S. Shostak

The effective permittivity is examined for a system of metallic spheres randomly embedded in an uniform dielectric medium. It is noted that with the metal volume fraction increase the role of pair multipole interactions between inclusions becomes significant. The frequency dependence of the imaginary part of the effective permittivity of the system is calculated with account of the dipole-dipole interaction between particles of two different kinds

Keywords: *effective permittivity, metallic spheres, dielectric medium, multipole interaction*

УДК 532

ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ ВОЛОКОННИХ СВІТЛОВОДІВ ЯК ОБ'ЄКТ ВИВЧЕННЯ

О.П. Зінькевич, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет харчових технологій

О.М. Нещадим, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України

В.М. Сафонов, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет харчових технологій
e-mail: oleksandr_neshchadym@mail.ru

Розглянуто процес формування волоконних світловодів та вплив нестабільності зовнішніх умов на експлуатаційні характеристики готової продукції. Вивчено основні методи витягування волоконних світловодів, та підхід до побудови реологічних моделей зон формування.

Ключові слова: *волоконні світловоди, область прядомісті, гідродинамічна стійкість, вільна поверхня, реологічна модель, зони формування, розрив, розпад на каплі, методи витягування*

Експлуатаційні характеристики готової продукції в повній мірі залежать від ефективного функціонування автоматичних систем управління технологічних процесів витягування волоконних світловодів (ВС). Для оперативного управління процесом необхідно знати: стаціонарний процес формування, відгук процесу на нестабільність

зовнішніх умов формування; а також ті значення управляючих параметрів, які сприяють отриманню продукції необхідної якості.

Мета досліджень – розробка методики побудови адекватної математичної моделі витягування ВС.

Матеріали та методика досліджень. При дослідженні процесу формування волоконних світловодів аналізувались відомі реологічні моделі в рамках класичної теорії механіки суцільного середовища.

Результати досліджень. 1. *Умови формування волоконних світловодів.* Нестабільність зовнішніх умов формування може призвести до втрати гідродинамічної стійкості процесу формування ВС або до обривання скломаси, що витягується. Зрештою це призводить до коливань геометричних параметрів готової продукції, що відображається на експлуатаційних характеристиках світловодів.

Зовнішні умови формування – це швидкість подачі заготовки в піч; швидкість витягування; температура зовнішнього середовища; температура печі; коефіцієнт тепловіддачі; неоднорідність геометричних розмірів заготовки по її довжині.

Обривність ВС визначається обмеженою прядомістю скломаси: рідині властива прядомість за даних умов формування, якщо стійке розтягнення струменя, що встановилося, відбувається без розриву з будь-якої причини. Обривність ВС проявляється у вигляді крихкого розриву, коли розтягуюча напруга сягає певної межі міцності на розрив; і у вигляді розпаду на краплі, коли відношення величини поверхневого натягу до в'язкості рідини досягає певної критичної величини. Зростання поверхневого натягу пов'язано з так званими «капілярними хвилями» на вільній поверхні рідини – явищем, яке вперше дослідив Релей [6].

Рух рідини вважають гідродинамічно стійким, якщо малі збурення, що діють на систему, досягають певного рівноважного стану або зменшуються до нуля, а не збільшуються з часом. Якщо цього немає, то протікання струменя втрачає гідродинамічну стійкість, що спричинює коливання геометричних параметрів готової продукції і може призвести до повної зупинки технологічного процесу формування ВС. Тому необхідно виокремлювати області стійкого і нестійкого формування ВС у просторі (на площині) зміни зовнішніх умов витягування ВС, а також область прядомісті.

Область стійкості не завжди збігається з областю прядомісті. Область прядомісті включає ту частину області гідродинамічної стійкості, в якій не може виникнути крихкий розрив, і ту частину області гідродинамічної нестійкості, в якій зростання капілярних хвиль на вільній поверхні рідкого струменя ще не призводить до розпаду на краплі. Умови «перебування» в області стійкого формування не є достатніми, оскільки може статися крихкий розрив, що діє незалежно від гідродинамічної стійкості. Крім того, процес може мати гідродинамічну стійкість, але при цьому стихаючі післядії коливання можуть мати занадто великі амплітуду і час стихання. Звідси випливає, що, по-перше, необхідні такі зусилля розтягування, які не можуть призвести до крихкого розриву. По-друге,

необхідно знати динамічні реакції процесу на можливі збурливі дії технологічних параметрів, стаціонарні значення яких належать до стійкого перебігу процесу, або ж чуттєвість процесу до збурливих дій, що забезпечує ефективне управління процесом. Зрештою, необхідно знайти ті значення управляючих параметрів, які сприяють отриманню на виході сталого процесу продукції необхідної якості. Зробити це можна на основі побудови математичної моделі, що адекватно та якомога глибше описує сталий процес формування ВС.

2. Методи витягування волоконних світловодів. Існуючі методи отримання ВС можна розподілити на дві групи: методи витягування із заготовок та із розплавленого скла.

Виготовлення тонкого волоконного світловода за допомогою методів, що належать до першої групи, виконується витягуванням із масивної скляної циліндричної заготовки (суцільної чи трубчастої), розігрітої з одного кінця до температури плавлення. За допомогою падаючого механізму заготовка повільно опускається в піч, а барабан витягує з неї волокно і намотує його. Як нагрівачі використовуються графітові та цирконієві індукційні печі, графітові електropечі опору, киснево-водневі горілки.

Найпоширенішим способом витягування із розплавленого скла є спосіб двох тиглів. Його суть полягає в такому. Два тиглі – внутрішній та зовнішній – розташовуються так, що мають загальну вісь. При цьому сопло внутрішнього тигля розташовано на певній відстані від нижнього зрізу зовнішнього тигля. Внутрішній тигель заповнюється розплавленим склом, що має формувати серцевину світловода, скло зовнішнього тигля утворює потім скло оболонки. Зазвичай використовується два скла, в яких відбувається взаємна дифузія.

Експлуатаційні характеристики ВС, наприклад втрати на проходження, смуга пропускання, міцність, значною мірою залежить від процесу витягування і покриття волокон. Цей процес слід розглядати як єдину операцію, що складається із низки окремих етапів, кожний з яких повинен надавати виробу необхідних якостей. Волокно з потрібними характеристиками можна отримати тільки за умов успішного проведення і контролю усіх етапів технологічного процесу. Це – нагрівання заготовки, витягування скломаси, контроль і підтримка необхідної товщини покриття, концентричності і намотування готової продукції.

Метод витягування із заготовки доцільно використовувати для виробництва порівняно невеликих партій виробів з різними геометричними параметрами. Метод витягування із розплавленого скла є більш продуктивним, але менш гнучким, його переважно застосовують при виробництві великих промислових партій однотипних виробів.

3. Реологічні моделі. Процес формування має дві основні стадії: формотворення і фіксації форми [1,3]. Тут необхідно розглядати дві сторони протікання процесу формування – механічну (процес деформування скломаси) і теплотехнічну (процес нагрівання та охолодження скла). Якщо точкою відліку вважати початок плавлення скла

заготовки, то весь процес формування можна умовно розбити на чотири зони: формування; власне витягування; завершення процесу; приймання готового скловолокна. Кожній зоні відповідають характерні особливості протікання двох названих сторін протікання процесу формування.

Кожна із названих чотирьох зон характеризується своїм видом залежності між напругою τ й спричиненими нею деформаціями Δ , а також швидкостями деформацій. Встановлення характеру таких залежностей $\tau = \tau(\Delta)$, які ще називають конститутивними рівняннями, є завданням реології. Для повного розуміння процесу формування необхідно знати реологічну поведінку волокна, що витягується, в кожній з чотирьох зон.

Проте це неможливо за нинішнього стану наших знань: нині не існує надійної, достеменно точної загальної теорії або вичерпних експериментальних даних для такого широкого діапазону зовнішніх умов. І, як результат, доводиться обмежуватися застосуванням простих реологічних моделей і прийнятних емпіричних співвідношень.

Всі існуючі реологічні моделі можна поділити на два класи залежно від того, чи вкладаються ці моделі в рамки класичної лінійної теорії, що розглядає лише нескінченно малі і нескінченно повільні деформації і так звані явища першого порядку, або при побудові цих моделей беруть до уваги скінченність деформацій та їх швидкостей, а також явища вищих порядків [4].

Рейнером [2] запропоновано проводити систематизацію моделей у рамках класичної теорії, опираючись на основні моделі суцільного середовища: пружне тіло Гука, що є ідеально пружним тілом і розглядається в класичній теорії пружності; в'язка рідина Ньютона, що є «простою» в'язкою рідиною і розглядається класичною гідродинамікою; пластичне тіло Сен-Венана – тверде тіло, якому властива межа протікання, при напрузі нижче якої воно деформується пружно і пластично тече при постійній напрузі, що дорівнює межі протікання. Тіло Сен-Венана вивчає ідеальна пластичність. Решту «реологічних тіл» можна розглядати як комбінації цих трьох основних тіл.

Кожній із названих моделей можна дати механічну трактовку, на основі якої будується механічна модель. Складаючи послідовні, паралельні або змішані поєднання цих моделей, можна отримати нові моделі, які описують поведінку найрізноманітніших реальних матеріалів. Так, послідовне поєднання моделей Ньютона і Гука створює відому модель Максвелла.

Відомо, що модуль пружності зсуву лише незначною мірою залежить від температури, трохи знижуючись з її підвищенням внаслідок збільшення міжмолекулярних відстаней, тобто ослаблення сил зчеплення. В'язкість же, а разом з нею період релаксації, досить різко знижується з підвищенням температури, оскільки зі зростанням інтенсивності теплового руху полегшується рухомість – вірогідність переходу від одного тимчасового стану рівноваги до іншого. Прикладом може бути звичайне скло, яке можна вважати досить в'язкою рідиною.

В'язкість скла, наприклад віконного, при звичайних температурах настільки велика (вона становить мільярди мільйонів пуаз), що її неможливо визначити. Тому скло веде себе як ідеально пружне тіло аж до розриву. Лише при значному підвищенні температури (вищою за так звану температуру розм'якшення) в'язкість скла настільки знижується, що стає вимірною, і скло поводить ся за таких температур як звичайна високов'язка рідина.

Із реологічної точки зору волокноутворюючі розплави можна поділити на три групи: 1) неорганічні матеріали (скло, метали); 2) лінійні поліконденсаційні полімери (поліефіри, поліаміди); 3) лінійні поліолефіни і вінілові полімери (поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид).

Скло і метали в розплавленому стані є ньютонівськими рідинами без помітних нелінійних чи пружних особливостей [5]. Розплави представників другої групи є помірно в'язкими рідинами (в'язкість при температурі екструзії порядку 10^4 пуаз) зі слабо вираженими ньютонівською і в'язко-пружною поведінкою і малим (зазвичай менше 1 с) часом релаксації – явища поступового розсіювання пружної енергії, накопиченої в деформованому тілі, шляхом переходу її в тепло. Третя група волокноутворюючих матеріалів – це в'язко-пружні рідини з великим часом релаксації, високими в'язкостями (не менше 10^5 пуаз в умовах екструзії) і з явно неньютонівською поведінкою.

Відповідно до зазначених особливостей поведінки волокноутворюючих матеріалів у розплавленому стані необхідно вибирати належну реологічну модель, що якнайкраще описує поведінку розплаву у відповідній зоні процесу формування.

Висновки

Нестабільність зовнішніх умов формування може привести до втрати гідродинамічної стійкості процесу витягування ВС.

Область гідродинамічної стійкості не завжди збігається з областю прядомісті. Область прядомісті включає ту частину області гідродинамічної стійкості, в якій не може виникнути крихкий розрив, і ту частину області гідродинамічної нестійкості, в якій зростання капілярних хвиль на вільній поверхні рідкого струменя ще не призводить до розпаду на краплі.

Умови «перебування» в області стійкого формування не є достатнім, оскільки може статися крихкий розрив, що діє незалежно від гідродинамічної стійкості. На кожній стадії формування необхідно розглядати дві сторони: механічну і теплотехнічну.

Не існує повної математичної моделі формування ВС у рамках класичної теорії. Кожна із зон формування характеризується своїм видом залежності між напругою і спричиненими нею деформаціями. Не існує загальної теорії для широкого діапазону зовнішніх умов.

Систематизацію реологічних моделей необхідно проводити в рамках класичної теорії, спираючись на основні моделі суцільного середовища.

Список літератури

1. Стекланные волокна / [М.С. Асланова, Ю.И. Колесов, В.Е. Хасанов и др.]: под ред. М.С. Аслановой– М.: Химия, 1979. –256 с.
2. Рейнер М. Реология / М. Рейнер; пер. с англ. Н.И. Малинина. – М.: Наука, 1965. –223 с.
3. Производство стекланных волокон и тканей / [Бадалова Э.И., Бардушкина В.П., Войцехович Н.Я. и др.]; под. ред. М.Д. Ходаковского. – М.: Химия, 1973. – 311 с.
4. Glicksman, L.R. A prediction of the upper temperature limit for glass fiber spinning / L.R. Glicksman. – Glass Technology. – 1974. № 15. – P. 16–20.
5. Mottern, J.W. Spinning wipe from molten metal / J.W. Mottern, W.J. Privott. – AICHE Symposia Stria. – New York, – 1978.–74, № 180.–116 p.
6. Rayleigh, Lord. Oh the instability of a cylinder of viscous liquid under capillary force / Lord Rayleigh. – Philosophy Magazine. – 1892. – 34. – F.145 – 156.

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ КАК ОБЪЕКТ ИЗУЧЕНИЯ

А.П. Зинькевич, А.М. Нещадим, В.М. Сафонов

Рассмотрен процесс формирования волоконных световодов и влияние нестабильности внешних условий на эксплуатационные характеристики готовой продукции. Изучены основные методы вытягивания волоконных световодов и подход к построению реологических моделей зон формирования.

***Ключевые слова:* волоконные световоды, область прядомости, гидродинамическая устойчивость, свободная поверхность, реологическая модель, зоны формирования, разрыв, распад на капли, методы вытягивания**

THE PROCESS OF FORMATION OF OPTICAL FIBERS AS OBJECTS OF STUDY

A. Zinkevych, A. Neshchadym, V. Safonov

This paper considers the process of forming fibers and the influence of instability of the external environment on the performance of the finished product. The basic methods of drawing of optical fibers, and the approach to the construction of rheological models of the formation zone are studied.

***Keywords:* fiber optic, cable area predmosti, hydrodynamic stability, free surface, rheologicat model, the zone of the formation, dissolution, disintegration into droplets, methods of stretching**

ЗАДАЧІ ГАРАНТОВАНОЇ ЧУТЛИВОСТІ ДЛЯ СИСТЕМ ЗВИЧАЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

*Л.А.Панталієнко, кандидат фізико-математичних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Наведено алгоритми оптимізації динамічних систем за допомогою функції чутливості. Розглянуто постановки задач гарантованої чутливості, що охоплюються критеріями практичної стійкості. Здійснено оцінювання області параметрів, для кожного значення з якої не порушуються обмеження на функції чутливості.

Ключові слова: гарантована чутливість, функції чутливості, параметри, стійкість

При розв'язанні низки прикладних задач, пов'язаних з проектуванням, керуванням і оптимізацією реальних систем [1,3,5], часто виникає необхідність в аналізі чутливості системи відносно різного роду збурень її параметрів. Для забезпечення нормального функціонування системи, зокрема, вводять обмеження на функції чутливості та оцінюють відповідну область початкових умов [2]. При цьому суттєво, щоб вимоги щодо чутливості виконувались не тільки на розрахункових режимах, а з урахуванням розкидів значень реальних параметрів. Такий підхід стосується класу задач гарантованої чутливості, що пропонується розв'язувати за алгоритмами практичної стійкості [2,3] для рівнянь чутливості.

Мета досліджень — розробка конструктивних методів розв'язання задач гарантованої чутливості на підставі алгоритмів практичної стійкості параметричних систем.

Матеріали та методика досліджень. У роботі застосовуються математичні методи теорії стійкості, чутливості та оптимізації.

Розглянемо спочатку лінійну систему диференціальних рівнянь:

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + G(t)\alpha, \quad t \in [t_0, T], \quad (1)$$

з початковими умовами

$$x(t_0) = x_0 = x_0(\alpha), \quad t_0 = t_0(\alpha). \quad (2)$$

Тут α – m -вимірний вектор параметрів, що вибирається з деякої множини G_α ; $x = x(t, \alpha)$ – вектор фазових координат вимірності n ; $A(t)$, $G(t)$ – матриці вимірності $n \times n$ і $n \times m$ відповідно.

Рівняння чутливості [2,5] для системи (1) мають вигляд:

$$\frac{du^{(i)}(t, \alpha)}{dt} = A(t)u^{(i)}(t, \alpha) + g^{(i)}(t), \quad t \in [t_0, T], \quad (3)$$

де $u^{(i)}(t, \alpha) = \frac{\partial x(t, \alpha)}{\partial \alpha_i}$ – вектор функцій чутливості вимірності n ; $g^{(i)}(t)$ – n -вимірний вектор, що відповідає i -тому стовпцю матриці $G(t)$ ($i = 1, 2, \dots, m$).

Розглянемо задачу мінімізації функціонала від кінцевого стану системи (1) по вектору параметрів α :

$$J(\alpha^{(0)}) = \min_{\alpha \in G_\alpha} \Phi(x(T, \alpha)) \quad (4)$$

за наявності обмежень на функції чутливості [1–3]:

$$\Phi_t = \Gamma_t = \left\{ u(t, \alpha) : \left| \sum_{i=1}^m l_s^{(i)*}(t) u^{(i)}(t, \alpha) \right| \leq 1, s = 1, 2, \dots, N \right\}, \quad t \in [t_0, T]; \quad (5)$$

$$\Phi_t = \Psi_t = \left\{ u(t, \alpha) : \psi(u(t, \alpha), t) = \psi(u^{(1)}(t, \alpha), u^{(2)}(t, \alpha), \dots, u^{(m)}(t, \alpha)) \leq 1 \right\}, \quad t \in [t_0, T]. \quad (6)$$

Тут $l_s^{(i)}(t)$, $i = 1, 2, \dots, m$, $s = 1, 2, \dots, N$ – відомі неперервні вектор-функції вимірності n ;

$u^*(t, \alpha) = (u^{(1)*}(t, \alpha), \dots, u^{(m)*}(t, \alpha))$ – вектор вимірності $n \cdot m$; $\psi(u(t, \alpha), t)$ – скалярна функція, неперервна за своїми аргументами разом з частинними похідними по елементах вектора $u(t, \alpha)$; множина Ψ_t – опукла, замкнена та містить нульову внутрішню точку для будь-яких $t \in [t_0, T]$.

Для розв'язання задачі (4) скористаємося схемою градієнтного спуску [1]:

$$\alpha_i^{(k+1)} = P_{G_{\alpha^{(k)}}} \left\{ \alpha_i^{(k)} - \rho_k \cdot \text{grad}_x^* \Phi(x(T, \alpha^{(k)})) u^{(i)}(T, \alpha^{(k)}) \right\}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (7)$$

де $P(\cdot)$ – операція проектування вектора параметрів $\alpha^{(k+1)}$ на множину $G_{\alpha^{(k)}} \subset G_\alpha$, ρ_k – крок градієнтного спуску.

З метою урахування обмежень (5), (6) введемо до розгляду множину початкових умов для функцій чутливості $G_0 = \left\{ u(t_0) : \sum_{i=1}^m u^{(i)*}(t_0) B_i u^{(i)}(t_0) \leq c^2 \right\}$ та застосуємо алгоритми практичної стійкості [3] у просторі цих функцій.

Так, для системи диференціальних рівнянь (3) за наявності обмежень (5) умови практичної стійкості набувають вигляду:

$$c^2 \leq \min_{t \in [t_0, T]} \min_{s=1, 2, \dots, N} \frac{\left(1 - \left| \sum_{i=1}^m l_s^{(i)*}(t) \alpha^{(i)}(t) \right| \right)^2}{\sum_{i=1}^m l_s^{(i)*}(t) X(t, t_0) B_i^{-1} X^*(t, t_0) l_s^{(i)}(t)},$$

$$\left| \sum_{i=1}^m l_s^{(i)*}(t) a^{(i)}(t) \right| < 1, \quad s = 1, 2, \dots, N, \quad t \in [t_0, T], \quad (8)$$

де $a^{(i)}(t) = \int_{t_0}^t X(t, \tau) g^{(i)}(\tau) d\tau$, $i = 1, 2, \dots, m$, а фундаментальна матриця розв'язків

$X(t, t_0)$ задовольняє матричному рівнянню

$$\frac{dX(t, t_0)}{dt} = A(t) X(t, t_0), \quad X(t_0, t_0) = E.$$

Для нелінійних обмежень на функції чутливості оцінка початкової області G_0 буде такою:

$$c^2 \leq \min_{t \in [t_0, T]} \min_{\bar{u} \in \Psi'_t} \frac{[grad_u^* \psi(\bar{u}, t)(\bar{u} - a(t))]^2}{grad_u^* \psi(\bar{u}, t) Q^{-1}(t) grad_u \psi(\bar{u}, t)},$$

$$grad_u^* \psi(\bar{u}, t)(\bar{u} - a(t)) > 0, \quad \bar{u} \in \Psi'_t, \quad t \in [t_0, T]. \quad (9)$$

Тут $a^*(t) = (a^{(1)*}(t), a^{(2)*}(t), \dots, a^{(m)*}(t))$, Ψ'_t – межа множини Ψ_t , $t \in [t_0, T]$, а квадратна матриця $Q^{-1}(t)$ вимірності $n \cdot m$ такої структури:

$$Q^{-1}(t) = \begin{pmatrix} X(t, t_0) B_1^{-1} X^*(t, t_0) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & X(t, t_0) B_2^{-1} X^*(t, t_0) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & X(t, t_0) B_m^{-1} X^*(t, t_0) \end{pmatrix}.$$

На відміну від задач обмеженої чутливості [2], тут обмеження на функції чутливості будуть виконуватись для довільних α з множини

$$G_1^\alpha = \left\{ \alpha : \sum_{i=1}^m \left(\frac{dx_0(\alpha)}{d\alpha_i} - (\tilde{A}x_0(\alpha) + \tilde{G}\alpha) \frac{dt_0(\alpha)}{d\alpha_i} \right)^* B_i \left(\frac{dx_0(\alpha)}{d\alpha_i} - (\tilde{A}x_0(\alpha) + \tilde{G}\alpha) \frac{dt_0(\alpha)}{d\alpha_i} \right) \leq c^2 \right\},$$

де $\tilde{A} = A(t_0(\alpha))$, $\tilde{G} = G(t_0(\alpha))$.

Тому, проєкції в ітераційній процедурі (7) необхідно здійснювати на множину $G_{\alpha^{(k)}} = G_\alpha \cap G_1^\alpha$. Якщо в момент t_0 функції чутливості не залежать від вектора параметрів, то множина G_1^α визначає неявно допуски на збурення початкових умов для функцій чутливості, за якими не порушуються відповідні обмеження на них у динаміці.

З таких позицій можна розглядати і нелінійні системи вигляду

$$\frac{dx}{dt} = f(x, t, \alpha), \quad f(0, t, 0) \equiv 0, \quad t \in [t_0, T]. \quad (10)$$

Якщо провести лінеаризацію системи (10) в околі будь-якого розрахункового руху, наприклад $x(t) = 0$, $\alpha = 0$, одержимо систему

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + G(t)\alpha + R(x, t, \alpha), \quad t \in [t_0, T]. \quad (11)$$

Рівняння чутливості, що відповідають (11), мають вигляд:

$$\frac{du^{(i)}(t, \alpha)}{dt} = A(t)u^{(i)}(t, \alpha) + g^{(i)}(t) + \frac{\partial R(x, t, \alpha)}{\partial \alpha_i}, \quad t \in [t_0, T], \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (12)$$

де $A(t) = \left\{ \frac{\partial f_i(x, t, \alpha)}{\partial x_j} \right\}_n \Big|_{\substack{x=0, \\ \alpha=0}}, \quad G(t) = \left\{ \frac{\partial f_i(x, t, \alpha)}{\partial \alpha_j} \right\}_n \Big|_{\substack{x=0, \\ \alpha=0}}, \quad R(x, t, \alpha) - \text{вектор-функція вимірності } n, \text{ що визначає похибку апроксимації.}$

Критерії стійкості типу (8), (9) для системи (12) за наявності обмежених збурень $\frac{\partial R(x, t, \alpha)}{\partial \alpha_i}$ набувають відповідно вигляду:

$$c^2 \leq \min_{t \in [t_0, T]} \min_{s=1, 2, \dots, N} \left[1 - \left\| \sum_{i=1}^m I_s^{(i)*}(t) a^{(i)}(t) - \int_{t_0}^t \sum_{i=1}^m I_s^{(i)*}(t) X(t, \tau) \frac{\partial R(x(\tau), \tau, \alpha)}{\partial \alpha_i} d\tau \right\| \right]^2 \times \\ \times \left[\sum_{i=1}^m I_s^{(i)*}(t) X(t, t_0) B_i^{-1} X^*(t, t_0) I_s^{(i)}(t) \right]^{-1}, \\ \left\| \sum_{i=1}^m I_s^{(i)*}(t) a^{(i)}(t) + \int_{t_0}^t \sum_{i=1}^m I_s^{(i)*}(t) X(t, \tau) \frac{\partial R(x(\tau), \tau, \alpha)}{\partial \alpha_i} d\tau \right\| < 1, \quad s = 1, 2, \dots, N, \quad t \in [t_0, T];$$

$$c^2 \leq \min_{t \in [t_0, T]} \min_{s=1, 2, \dots, N} c^2 \leq \min_{t \in [t_0, T]} \min_{u \in \Psi'_t} \frac{[grad_u^* \psi(\bar{u}, t)(\bar{u} - a^{(i)}(t)) - a_i(t)]^2}{grad_u^* \psi(\bar{u}, t) Q^{-1}(t) grad_u \psi(u, t)},$$

$$grad_u^* \psi(\bar{u}, t)(\bar{u} - a^{(i)}(t) - a_i(t)) > 0, \quad \bar{u} \in \Psi'_t, \quad t \in [t_0, T],$$

де

$$a_i(t) = \int_{t_0}^t \left\| \sum_{i=1}^m grad_{u^{(i)}}^* \psi(\bar{u}, t) X(t, \tau) \frac{\partial R(x(\tau), \tau, \alpha)}{\partial \alpha_i} d\tau \right\|,$$

а норма, що стоїть під знаком інтеграла, визначає максимум по змінних u , x із заданих областей.

Визначивши область змінювання параметрів $G_{\alpha^{(k)}}$, що не порушують відповідні вимоги для функцій чутливості, можна розв'язувати чисельно пряму задачу оцінювання збуреної траєкторії вихідної системи. Крім того, розв'язок задачі гарантованої чутливості визначає неявним чином допустиму множину розкиду параметрів при заданих обмеженнях на функції чутливості в динаміці. За допомогою поняття практичної стійкості за напрямом [4] можна одержувати оптимальні оцінки для наведених постановок задач.

Висновки

На підставі критеріїв практичної стійкості для параметричних систем розроблено алгоритми розв'язання задач гарантованої чутливості. За наявності динамічних обмежень на функції чутливості здійснене чисельне оцінювання області початкових умов, що неявно визначає допустиму множину розкиду параметрів вихідної системи.

Список літератури

1. Бублик Б.Н. Структурно-параметрическая оптимизация и устойчивость динамики пучков / Бублик Б.Н, Гаращенко Ф.Г., Кириченко Н.Ф. — К.: Наук. думка, 1985. — 304 с.
2. Панталієнко Л.А. Дослідження задач обмеженої чутливості методами практичної стійкості / Л.А. Панталієнко // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». — 2014. — Вип. 194, ч.2. — С. 243–248.
3. Панталиенко Л.А. Оценивание и оптимизация параметрических систем методами практической устойчивости / Л.А. Панталиенко // Доповіді Національної академії наук України. Математика. Природознавство. Технічні науки. —1998. — №8 — С.110–114.
4. Панталієнко Л.А. Стабілізація руху динамічних систем за напрямом / Л.А. Панталієнко // Науковий вісник НУБіП України. — 2009. — №134, ч.1. — С. 195 — 200.
5. Розенвассер Е.Н. Чувствительность систем управления / Е.Н. Розенвассер, Р.М. Юсупов.— М.: Наука , 1981. — 464 с.

ЗАДАЧИ ГАРАНТИРОВАННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Л.А. Панталиенко

Приведены алгоритмы оптимизации динамических систем с помощью функции чувствительности. Рассмотрены постановки задач гарантированной чувствительности, которые охватываются критериями практической устойчивости. Осуществлено оценивание области параметров, для каждого значения из которой не нарушаются ограничения на функции чувствительности.

Ключевые слова: *гарантированная чувствительность, функции чувствительности, параметры, устойчивость*

PROBLEMS THE GUARANTEED SENSITIVITY FOR SYSTEMS OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS

L. Pantalienko

The algorithms optimization of dynamic systems using the function of sensitivity. The problem of guaranteed sensitivity covered practical stability criteria. Done field evaluation parameters for each value of which does not violate the restrictions on the function of sensitivity.

Keywords: *guaranteed sensitivity, sensitivity functions, parameters, resistance*

ОЦІНКА DT-МОДУЛЯ ГЛАДКОСТІ

О.Ю. Дюженкова, кандидат фізико-математичних наук²⁴
e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Розглянуто модулі гладкості Дітзіана-Тотіка (DT - модулі гладкості). Досліджено зв'язок між DT - модулем гладкості r -ї похідної функції f та звичайним k -м модулем гладкості r -ї похідної періодичної функції $\tilde{f} = f(\cos t)$. Зокрема, одержано оцінку зверху для DT - модуля гладкості.

Ключові слова: *рівномірне наближення функцій, конструктивна характеристика, модулі гладкості, оцінка зверху*

Важливим розділом теорії наближень є конструктивні характеристики класів функцій, які виражаються через оцінки їх рівномірного наближення алгебраїчними многочленами. Для наближення неперервних на $[-1;1]$ функцій значні результати було отримано в термінах k -го модуля неперервності $\omega_k(\tilde{f}, t)$ функції $\tilde{f} = f(\cos t)$ (див. [3]). Останнім часом для рівномірного наближення функцій використовують DT-модулі гладкості $\bar{\omega}_k(f, t)$, введені Дітзіаном і Тотіком (див. монографії Ditzian Z., Totik V. [5], Шевчука І.О. [4]).

Мета досліджень – встановлення зв'язку між DT-модулем гладкості та звичайним модулем гладкості k -го порядку для подальшої побудови конструктивної характеристики класів неперервних функцій.

Матеріали та методика досліджень. У роботі використовуються методи рівномірного наближення функцій ([1], [4]), зокрема інтерполяція функцій многочленами Лагранжа.

Результати досліджень. Одержано оцінку зверху для DT-модуля гладкості $\bar{\omega}_{k,r}(\tau, f^{(r)})$ r -ї похідної функції f через k -й модуль гладкості $\omega_k(\tau, \tilde{f}^{(r)})$ r -ї похідної періодичної функції $\tilde{f}$. Показано, що пряма оцінка для DT-модуля гладкості є кращою, ніж для звичайного модуля гладкості.

Нехай $C_{[a;b]}^0 := C_{[a;b]}$ – простір неперервних на $[a;b] \subset \mathbb{R}$ функцій $f: [a;b] \rightarrow \mathbb{R}$ із рівномірною нормою $\|f\|_{[a;b]} := \max_{x \in [a;b]} |f(x)|$. Позначимо через $C_{[a;b]}^r := \{f \mid f^{(r)} \in C_{[a;b]}\}$, $r \in \mathbb{N}$, а через C^r – підмножину функцій $f \in C_{[-1;1]}$, які мають неперервну r -ту похідну на інтервалі $(-1;1)$. Нехай $k \in \mathbb{N}$, $h \in \mathbb{R}$. Розглянемо основні означення.

Означення 1. Вираз $\Delta_h^k(f;t) := \sum_{i=0}^k (-1)^{k-i} \binom{k}{i} f\left(t - \frac{kh}{2} + ih\right)$ називається k -ю симетричною різницею функції f у точці $t \in R$ із кроком h .

Означення 2. Модулем неперервності (гладкості) k -го порядку функції $f \in C_{[a;b]}$ називається функція

$$\omega_k(\tau, f, [a;b]) := \sup_{h \in [0;\tau]} \left\| \Delta_h^k(f;x) \right\|_{[a+\frac{kh}{2}; b-\frac{kh}{2}]}, \quad \tau \geq 0.$$

Позначивши $\varphi(x) := \sqrt{1-x^2}$, розглянемо модулі гладкості, введені З.Дітзіаном і В. Тотіком [5].

Означення 3. DT - модулем гладкості k -го порядку функції $f \in C_{[-1;1]}$ називається функція

$$\bar{\omega}_k(\tau, f) = \sup_{h \in [0;\tau]} \sup_{x: [x-\frac{kh\varphi(x)}{2}; x+\frac{kh\varphi(x)}{2}] \subset [-1;1]} \left\| \Delta_{h\varphi(x)}^k(f;x) \right\|_{[a+\frac{kh}{2}; b-\frac{kh}{2}]}, \quad \tau \geq 0$$

Означення 4. DT - модулем гладкості k -го порядку з вагою

$$\varphi_r := \varphi_r(x, k, h) := \left(1 + x - \frac{kh\varphi(x)}{2}\right)^{\frac{r}{2}} \left(1 - x - \frac{kh\varphi(x)}{2}\right)^{\frac{r}{2}}, \quad r \in R,$$

неперервної на $(-1;1)$ функції f називають функцію

$$\bar{\omega}_{k,r}(\tau, f) := \sup_{h \in [0;\tau]} \sup_{x: [x-\frac{kh\varphi(x)}{2}; x+\frac{kh\varphi(x)}{2}] \subset (-1;1)} \left\| \varphi_r \Delta_{h\varphi(x)}^k(f;x) \right\|_{[a+\frac{kh}{2}; b-\frac{kh}{2}]}, \quad \tau \geq 0.$$

Зауважимо, що $\bar{\omega}_{k,0}(\tau, f) := \bar{\omega}_k(\tau, f)$.

Для дослідження зв'язку між $\bar{\omega}_{k,r}(\tau, f^{(r)})$ і $\omega_k(\tau, \tilde{f}^{(r)})$ оцінимо DT -модуль гладкості $\bar{\omega}_{k,r}(\tau, f^{(r)})$ зверху. Для кожної функції $f \in C_{[-1;1]}$ позначимо $\tilde{f} := \tilde{f}(t) = f(\cos t)$. Надалі c_i – сталі, що залежать тільки від k та r .

Теорема. Для будь-яких $k \in N, r \in N$ і довільної функції $f \in C_{[-1;1]}$, для якої $\tilde{f}^{(r)}(t)$ неперервна на R , має місце оцінка

$$\bar{\omega}_{k,r}(\tau, f^{(r)}) \leq c_1 \omega_k(\tau, \tilde{f}^{(r)}), \quad \tau \geq 0. \quad (1)$$

Позначимо $m := k + r$. Зафіксуємо точку $x_0 \in (-1;1)$ і число $h > 0$ так, щоб $\left[x_0 - \frac{kd}{2}, x_0 + \frac{kd}{2}\right] \subset (-1;1)$, де $d := h\varphi(x_0)$.

Справедливість теореми впливає із оцінки

$$\left(\sqrt{\left(1 - \frac{kd}{2}\right)^2 - x_0^2} \right)^r \left| \Delta_d^k(f^{(r)}, x_0) \right| \leq c_2 \omega_k(h, \tilde{f}^{(r)}). \quad (2)$$

Для доведення нерівності (2) скористаємося відомими фактами (див. [4]). Якщо функція $f \in C_{[a;b]}^k$ і $\left(x - \frac{kh}{2}; x + \frac{kh}{2}\right) \in [a;b]$, то $\Delta_h^k(f; x) \leq h^k \|f^{(k)}\|_{[a;b]}$. Тоді для парних j справедлива оцінка

$$\left| \Delta_d^k((t^j)^{(r)}; x_0) \right| \leq c_3 h^k t_0^k. \quad (3)$$

Нехай $\tilde{l} = \tilde{l}(t)$ – многочлен Лагранжа степеня $\leq k-1$, який інтерполіює функцію $\tilde{f}^r$ у k рівновіддалених точках $t_i = -2t_0 + \frac{2i}{k-1}2t_0$, $i = \overline{0, k-1}$. При $k=1$ покладемо $\tilde{l}(t) = \tilde{f}^r(0)$. За нерівністю Уїтні (див. напр. [4], с. 50) маємо

$$\|\tilde{f}^{(r)} - \tilde{l}\|_{[-2t_0; 2t_0]} \leq c_4 \omega(t_0).$$

Розглянемо многочлен $\tilde{\lambda}(t) = \sum_{m=0}^{r-1} \frac{1}{m!} t^m \tilde{f}^m(0) + \frac{1}{(r-1)!} \int_0^t (t-u)^{r-1} \tilde{l}(u) du$,

тоді для всіх $t_0 \in [0; 2t_0]$ та $j = \overline{0, r}$ маємо

$$\left| \tilde{\lambda}^{(j)}(t) - \tilde{f}^{(j)}(t) \right| \leq c_5 t^{r-j} \omega(t_0).$$

Враховуючи відому нерівність для многочлена $P = P(x)$ (степеня $\leq k-1$)

$$\|P^{(j)}\|_{[a;b]} \leq c_6 (b-a)^{-j} \|P\|_{[a;b]}, \quad j = \overline{0, k-1}, \quad (4)$$

одержимо $\left| \tilde{\lambda}^{(j)}(0) \right| \leq c_7 \omega(\pi) < c_8 h^{-k} \omega(h)$, $j = \overline{0, r}$,

зокрема $\left| \tilde{\lambda}^{(j)}(0) \right| \leq c_9 h^{-k} t_0^{r-j} \omega(h)$, $j = \overline{r+1, m-1}$. (5)

Оскільки функція $\tilde{f}$ парна, то і многочлен $\tilde{\lambda}(t)$ також є парним, тобто $\tilde{\lambda}^{(j)}(0) = 0$, якщо j - непарне. Позначимо $\lambda(x) = \tilde{\lambda}(\arccos x)$, тоді за

формулою Маклорена маємо $\lambda^r(x) = \sum_{j=0}^{\left[\frac{m-1}{2}\right]} \frac{1}{(2j)!} \tilde{\lambda}^{(2j)}(0) (t^{2j})^r$,

$$t = t(x) = \arccos x.$$

Скориставшись нерівностями (3) і (5), знаходимо оцінку

$$\Delta_d^k(\lambda^r; x_0) \leq c_{10} \omega(h). \quad (6)$$

Позначимо через $\tilde{L} = \tilde{L}(t)$ – многочлен Лагранжа степеня $\leq m-1$, який інтерполіює функцію $\tilde{f}$ в m точках $t'_i = \beta + \frac{i(\alpha - \beta)}{m-1}$, $i = \overline{0, m-1}$. З

нерівностей Уїтні і Маршо (див. напр. [4], с. 51) та властивості k -го модуля гладкості впливає

$$\tau_1^{-k} \omega_k(\tau_1, \tilde{f}^{(r)}) \leq 2^k \tau_2^{-k} \omega_k(\tau_2, \tilde{f}^{(r)}), \quad 0 < \tau_2 < \tau_1,$$

впливає $\|\tilde{L} - \tilde{\lambda}\|_{[0; 2t_0]} \leq c_{11} h^{-k} t_0^m \omega(h)$, звідки, враховуючи нерівність (4), маємо

$$|\tilde{L}^{(j)}(0) - \tilde{\lambda}^{(j)}(0)| \leq c_{12} h^{-k} t_0^{m-j} \omega(h), \quad j = \overline{0, r}. \quad (7)$$

Позначимо $L(x) = \tilde{L}(\arccos x)$ і розкладемо різницю $L(x) - \lambda(x)$ за формулою Маклорена $L(x) - \lambda(x) = \sum_{j=0}^{m-1} \frac{1}{j!} (\tilde{L}^{(j)}(0) - \tilde{\lambda}^{(j)}(0)) t^j$. Тоді має

$$\Delta_d^k(L^{(r)} - \lambda^{(r)}, x_0) = \sum_{j=0}^{m-1} \frac{1}{j!} (\tilde{L}^{(j)}(0) - \tilde{\lambda}^{(j)}(0)) \Delta_d^k((t^j)^{(r)}, x_0).$$

Зауважимо, що для довільної 2π -періодичної r раз диференційованої функції $\tilde{\psi}(t)$ має місце зображення

$$\psi^r(x) = \sum_{j=1}^r \tilde{\psi}^{(j)}(t) \frac{T_{j,r}(t)}{(\sin t)^{2r-j}}, \quad \sin t \neq 0.$$

Скориставшись цим зображенням і нерівністю (7), одержимо оцінку (2), що й доводить теорему.

Висновки

У роботі було досліджено зв'язок між DT -модулем гладкості $\overline{\omega}_{k,r}(\tau, f^{(r)})$ та звичайним k -м модулем гладкості $\omega_k(\tau, \tilde{f}^{(r)})$, в результаті чого одержано оцінку зверху для $\overline{\omega}_{k,r}(\tau, f^{(r)})$.

Список літератури

1. Дзядык В.К. Введение в теорию равномерного приближения функций полиномами / В.К. Дзядык. – М.: Наука, 1977. – 512 с.
2. Дюженкова О.Ю. Замечание о модуле гладкости 3. Дитзиана и В. Тотика / О.Ю. Дюженкова // Укр. мат. журнал. – 1995. – 47, № 12. – С. 1627–1638.
3. Фуксман Л. Структурная характеристика функций, у которых $E_n(f; -1; 1) \leq Mn^{-(k+\alpha)}$ / Л. Фуксман // Успехи мат. наук. – 1965. – 20, № 4. – С. 187–190.
4. Шевчук И.А. Приближение многочленами и следы непрерывных на отрезке функций / И.А. Шевчук. – К.: Наук. думка, 1992. – 223 с.
5. Ditzian Z. Moduli of smoothness / Ditzian Z., Totik V. Springer-Verlag, New York/Berlin, 1987. – 300 p.

ОЦЕНКА DT-МОДУЛЯ ГЛАДКОСТИ

О. Ю. Дюженкова

Рассмотрены модули гладкости Дитзиана-Тотика (DT - модули гладкости). Исследована связь между DT-модулем гладкости r -й

производной функции f и k -модулем гладкости r -й производной периодической функции $\tilde{f} = f(\cos t)$. В частности, получена оценка сверху для DT -модуля гладкости.

Ключевые слова: равномерное приближение функций, конструктивная характеристика, модули гладкости, оценка сверху

THE ESTIMATE FOR THE DT -MODULE OF SMOOTHNESS

O. Dyuzhenkova

We consider the DT -module of smoothness, introduced by Ditzian and Totik. We investigate the connection between the DT -module of smoothness of the r -s derivative of the function f and classical module of smoothness of the r -s derivative of the periodic function $\tilde{f} = f(\cos t)$. In particular, we get the upper estimate for the DT -module of smoothness.

Keywords: function approximation, constructive characteristic, modules of smoothness, the upper estimate

УДК 517.53

ПРО МНОЖИНУ СКІНЧЕННИХ РІВНІВ НЕПЕРЕРВНИХ ФУНКЦІЙ

В.М. Сафонов, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет харчових технологій

О.М. Нецадим, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України

О.П. Зінкевич, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет харчових технологій
e-mail: oleksandr_neshchadym@mail.ru

Розглянуто неперервні функції однієї дійсної змінної, які мають множину скінченних рівнів скрізь другої категорії. Доведено, що у разі нульвимірності зазначених відображень множина їх нескінченних рівнів ніде не щільна.

Ключові слова: рівень функції, нульвимірне відображення, ніде не щільна множина, скрізь щільна множина, множина другої категорії

производной функции f и k -модулем гладкости r -й производной периодической функции $\tilde{f} = f(\cos t)$. В частности, получена оценка сверху для DT -модуля гладкости.

Ключевые слова: равномерное приближение функций, конструктивная характеристика, модули гладкости, оценка сверху

THE ESTIMATE FOR THE DT -MODULE OF SMOOTHNESS

O. Dyuzhenkova

We consider the DT -module of smoothness, introduced by Ditzian and Totik. We investigate the connection between the DT -module of smoothness of the r -s derivative of the function f and classical module of smoothness of the r -s derivative of the periodic function $\tilde{f} = f(\cos t)$. In particular, we get the upper estimate for the DT -module of smoothness.

Keywords: function approximation, constructive characteristic, modules of smoothness, the upper estimate

УДК 517.53

ПРО МНОЖИНУ СКІНЧЕННИХ РІВНІВ НЕПЕРЕРВНИХ ФУНКЦІЙ

В.М. Сафонов, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет харчових технологій

О.М. Нецадим, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України

О.П. Зінкевич, кандидат фізико-математичних наук
Національний університет харчових технологій
e-mail: oleksandr_neshchadym@mail.ru

Розглянуто неперервні функції однієї дійсної змінної, які мають множину скінченних рівнів скрізь другої категорії. Доведено, що у разі нульвимірності зазначених відображень множина їх нескінченних рівнів ніде не щільна.

Ключові слова: рівень функції, нульвимірне відображення, ніде не щільна множина, скрізь щільна множина, множина другої категорії

Особливо важливими в багатьох випадках виявляються дослідження, які пов'язані з неперервними відображеннями, що не мають інтервалів сталості.

Знання багатьох властивостей сукупності усіх рівнів функції (відображення) часто дає змогу охарактеризувати її структурні особливості.

Мета досліджень – вивчення в термінах категорії множини рівнів дійсних функцій однієї дійсної змінної.

Матеріали та методика досліджень. Використано методи теорії функцій та топології, зокрема категорний підхід для характеристики множини рівнів неперервного відображення.

Результати досліджень. Як зазвичай, через R позначимо одинимірний евклідов простір. Нехай $f: [a, b] \rightarrow R$ – неперервне відображення. Введемо такі поняття [2], [3], [5].

Досконалою множиною називається замкнена множина, кожна точка якої є граничною точкою цієї множини. Множина $A \subset R$ щільна в множині $B \subset R$, якщо кожна точка множини B є граничною точкою множини A , тобто, якщо $B \subset \bar{A}$. У разі, коли множина A щільна в R , то вона називається скрізь щільною.

Множина $A \subset R$ ніде не щільна в R , якщо кожна відкрита множина $G \subset R$ має іншу відкриту підмножину $G' \subset R$, яка не містить точок A . Замикання ніде не щільної множини $\bar{A}$ ніде не щільне в R . Об'єднання будь-якого скінченного числа ніде не щільних множин ніде не щільне. Зліченне об'єднання ніде не щільних множин не є, взагалі кажучи, ніде не щільним; воно може бути навіть щільним. Наприклад, множина раціональних точок щільна в R .

Множина $\tilde{A}$ називається множиною першої категорії в R , якщо її можна зобразити у вигляді об'єднання скінченної або зліченної сукупності ніде не щільних множин: $\tilde{A} = \bigcup_n A_n$. Як приклад множини першої категорії – множина раціональних точок в R .

Якщо ж множину $E \subset R$ не можна зобразити у вигляді об'єднання ніде не щільних множин, то вона називається множиною другої категорії в R . Наприклад, довільна відкрита множина в R являє собою таку множину.

У разі, коли доповнення $R \setminus E$ є множиною першої категорії, то множина E резидуальна, тобто вона – скрізь другої категорії або інакше – другої категорії в кожній своїй відкритій порції в R .

Замкнена множина $P \subset R$ називається нульвимірною ($\dim P = 0$), якщо вона ніде не щільна в R . Прикладами тут можуть бути довільні скінченна, а також зліченна замкнена множини в R . Нетривіальним прикладом є канторова досконала множина на відрізку $[0, 1]$ (потужності континуума у кожній своїй порції).

Розглянемо повний прообраз $f^{-1}f(x_0)$ точки $x_0 \in [a, b]$, який також будемо називати рівнем відображення f . Для неперервного f рівні його

являють собою замкнені множини в $[a, b]$, скінченні або нескінченні. Більш того, приклади показують, що існують неперервні відображення, в яких всі рівні не тільки нескінченні але і незліченні. Існують відображення, в яких всі рівні навіть досконалі, тобто не містять ізольованих точок.

Відображення f називається нульвимірним, якщо кожний його рівень є нульвимірною множиною, тобто $\dim f^{-1}f(x_0) = 0$ для будь-якого $x_0 \in [a, b]$.

Далі через $n(y)$ позначимо індикатрису Банаха – функцію, задану на відрізьку $[m, M]$, де $m = \min_{a \leq x \leq b} f(x)$ і $M = \max_{a \leq x \leq b} f(x)$, і значення якої – число коренів рівняння $f(x) = y$. Якщо множина цих коренів нескінченна, то $n(y) = +\infty$. Зрозуміло, що $0 \leq n(y) < +\infty$ для довільного скінченного рівня $f^{-1}(y)$.

Тепер маємо таке твердження.

Теорема 1. Нехай $f: [a, b] \rightarrow R$ – неперервне нульвимірне відображення і множина його скінченних рівнів E скрізь другої категорії на $f([a, b])$. Тоді множина нескінченних рівнів відображення f ніде не щільна.

Доведення. За умовою відображення f нульвимірне і має множину E скінченних рівнів скрізь другої категорії на образі $f([a, b])$. Тому існує скрізь щільна на відрізьку $[a, b]$ скінченна або зліченна послідовність $\{(a_i, b_i)\}$ інтервалів попарно без спільних точок, в кожному з яких f є строго монотонним [4], причому надалі можна вважати, що ніде не щільна замкнена множина $P = [a, b] \setminus \bigcup_i (a_i, b_i) \neq \emptyset$ і в жодному околі кожної точки $x \in P$ відображення f не є монотонним. При цьому точки множини $[a, b] \setminus P$ будемо називати регулярними.

Покажемо тепер, що доповнення $f([a, b]) \setminus E$ є ніде не щільною множиною. Зробимо це від супротивного. Припустимо, що знайдеться відрізок $[c, d] \subset f([a, b])$, на якому множина $f([a, b]) \setminus E$ є скрізь щільною.

Позначимо через F_n множину точок прямої $R = R_y$, кожній з яких відповідає щонайбільше n точок доповнення $[a, b] \setminus P$. Будь-яка множина F_n замкнена на R , оскільки легко довести, що її доповнення відкрите. Зазначимо тут, що точку $a \in [a, b]$ вважатимемо регулярною лише у тому випадку, якщо відображення f у точках a і $b \in [a, b]$ однобічно зростає або спадає. Тоді обидві ці точки слід визнавати за одну. Очевидно маємо $F_0 \subset F_1 \subset \dots \subset F_n \subset \dots$.

Оскільки E є множиною скрізь другої категорії на $f([a, b])$ і $\bigcup_n F_n \supset E$, то об'єднання $\bigcup_n F_n$ також скрізь другої категорії на відрізьку $[c, d] \subset f([a, b])$. На підставі цього існує інтервал $\Delta \subset [c, d] \subset f([a, b])$, в якому хоча б одна з

множин F_n є скрізь щільною. Внаслідок замкненості множини F_n звідси маємо $\Delta \subset F_n$.

Нехай точці $y_0 \in \Delta$ відповідає максимально можливе число N точок $\{x_k\} (k=1, 2, \dots, N)$ з доповнення $[a, b] \setminus P$ серед усіх точок інтервалу Δ . Зрозуміло, що $N \leq n$.

Побудуємо далі такі інтервали – околи $U(x_k) (k=1, 2, \dots, N)$ точок $x_k \in [a, b] \setminus P$, щоб образ кожного з них був деяким фіксованим інтервалом $\delta(y_0) \subset \Delta \subset [c, d]$ із центром у точці y_0 і щоб замикання цих околів – відрізки $\overline{U(x_k)} \subset [a, b] \setminus P (k=1, 2, \dots, N)$. Можливість виконання такої побудови легко впливає з відкритості строго монотонних функцій.

За припущенням множина нескінченних рівнів відображення f є скрізь щільною на відрізку $[c, d] \subset f([a, b])$. Отже, існує точка $\tilde{y}$ доповнення $[c, d] \setminus E \subset f([a, b])$ така, що $\tilde{y} \in \delta(y_0) \subset \Delta$.

Розглянемо рівень $f^{-1}(\tilde{y})$ відображення f , який є нескінченною нульвимірною множиною. Тоді маємо $f^{-1}(\tilde{y}) \cap P \neq \emptyset$ і в деякій точці $\tilde{x} \in P$ одержимо $f(\tilde{x}) = \tilde{y}$. Оскільки множина P ніде не щільна і $\tilde{x}$ не міститься в об'єднанні $\bigcup_{k=1}^N \overline{U(x_k)}$, то існує послідовність точок $\{x_m\}, x_m \in [a, b] \setminus P (m=1, 2, \dots)$, яка є збіжною до $\tilde{x}$. За неперервністю відображення f образи цих точок $y_m = f(x_m)$, починаючи з деякого номера m , будуть лежати у середині інтервалу $\delta(y_0)$.

Попереднє свідчить про таке. Якщо y_m – одна з таких точок, то їй має відповідати множина, яка містить принаймні $N+1$ точок з доповнення $[a, b] \setminus P$. Це суперечить визначенню точки y_0 і числа N .

Отримане протиріччя доводить теорему.

Те, що вищедоведена теорема не є вірною без додаткової вимоги про нульвимірність відображення показує приклад [1] відомої канторової функції $\theta(x), x \in [0, 1]$. Будучи сталою на замиканні кожного з суміжних інтервалів до канторової множини P_0 , функція $\theta(x)$ на щільній відкритій підмножині $[0, 1] \setminus P_0$ відрізка $[0, 1]$ є зростаючою, а її множина значень (на цій підмножині) скрізь щільна (і до того ж першої категорії) в $[0, 1]$.

Із встановленого результату маємо такі наслідки.

Теорема 2. Якщо виконуються всі умови теореми 1, то множина злічених рівнів відображення f ніде не щільна.

Теорема 3. За умов теореми 1 множина незлічених рівнів відображення f є ніде не щільною.

Нарешті, якщо взяти замикаання доповнення $f([a,b]) \setminus E$ і розглянути множину скінченних рівнів відображення f , то згідно з теоремою 1 одержимо відкриту скрізь щільну на $f([a,b])$ множину $e \subset E$. Отже, основний результат можна переформулювати так.

Теорема 4. Нехай неперервне нульвимірне відображення $f(x), x \in [a,b]$ має множину $E \subset f([a,b])$ скінченних рівнів скрізь другої категорії. Тоді множина E містить внутрішні точки відносно прямої R на будь-якому інтервалі $(\alpha, \beta) \subset f([a,b])$.

З доведення основної теореми випливає, що на кожному відрізку $[\lambda, \mu] \subset f([a,b])$ існує інтервал $\delta \subset [\lambda, \mu]$, кожній точці якого відповідає точно N точок, причому лише з доповнення $[a,b] \setminus P$. Звідси одержимо таке твердження.

Теорема 5. Якщо неперервне відображення $f: [a,b] \rightarrow R$ нульвимірне з множиною скінченних рівнів скрізь другої категорії, то існує відкрита скрізь щільна на $f([a,b])$ множина G , в кожній компоненті якої його індикатриса Банаха $n(y)$ обмежена.

Отже, якщо неперервна функція ніде не стала на відрізку і множина її скінченних рівнів другої категорії, то ця множина містить внутрішні точки, в околі кожної з яких індикатриса Банаха обмежена.

Висновки

На підставі попереднього для неперервної на відрізку функції, яка ніде не стала, множину її скінченних рівнів з точністю до ніде не щільної множини можна вважати відкритою і скрізь щільною, якщо вона другої категорії.

Список літератури

1. Гелбаум Б. Контрпримеры в анализе / Б. Гелбаум, Дж. Олмстед. – М.: Мир, 1967. – 252с.
2. Куратовский К. Топология: в 2 т. / К. Куратовский. – М.: Мир, 1996.–Т.1.– 595 с.
3. Натансон И.П. Теория функций вещественной переменной / И.П. Натансон. – М.: Наука, 1974.– 480с.
4. Сафонов В.М. Про зліченно-кратні функції / В.М. Сафонов // Аналіз і застосування: зб. праць Ін-ту математики НАН України, 2012. – Т.9, №2. – К.: Ін-т математики НАН України, 2012. – С. 341–346.
5. Трохимчук Ю.Ю. Дифференцирование, внутренние отображения и критерии аналитичности / Ю.Ю. Трохимчук.– К.: Ин-т математики НАН Украины, 2008.– 539 с.

О МНОЖЕСТВЕ КОНЕЧНЫХ УРОВНЕЙ НЕПРЕРЫВНЫХ ФУНКЦИЙ

В.М. Сафонов, А.М. Нецадим, А.П. Зинькевич

Рассмотрены непрерывные функции одной действительной переменной, которые имеют множество конечных уровней всюду второй категории. Доказано, что в случае нульмерности указанных отображений множество их бесконечных уровней нигде не плотно.

Ключевые слова: *уровень функции, нульмерное отображение, нигде не плотное множество, всюду плотное множество, множество второй категории*

ON THE SET OF THE FINAL LEVEL CONTINUOUS FUNCTIONS

V. Safonov, A. Neshchadym, A. Zinkevych

This paper considers continuous functions of real variable with a set of finite levels of the second category. We proved that in the case of zero-dimensionality, the set of its infinite levels is nowhere-dense.

Keywords: *level of function, zero-dimensional mapping, nowhere-dense set, dense set, set of the second category*

УДК 517.51

ІТЕРАЦІЙНІ МЕТОДИ В ЗАДАЧАХ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ МАТЕРІАЛІВ

Т.Г.Криворот, асистент
e-mail: tania.krivorot@gmail.com

Досліджено термомеханічні зв'язані процеси, застосовуючи основні рівняння і співвідношення динамічної зв'язаної задачі термомеханіки. Для розв'язку задачі використано апроксимаційні схеми Кранка-Нікольсона за часом в поєднанні з ітераційним процесом, застосовано ітераційний метод і метод скінченних елементів.

Ключові слова: *мікроструктурні перетворення, напружений стан, параметр, рівняння, модель, процес*

Постановка термомеханічної задачі включає: співвідношення Коші, рівняння руху, рівняння теплопровідності, початкові умови, граничні умови термомеханічного навантаження. Імпульсна обробка металу є ефективним методом підвищення міцності, зносостійкості та довговічності металевих елементів системи енергозабезпечення.

Мета досліджень – чисельне визначення мікроструктурних перетворень та напруженого стану при термомеханічному навантаженні.

Матеріали та методика досліджень. Задача є нелінійною і розв'язується чисельно кроковим методом за часом, моделює термічний та силовий фактор дії лазерного опромінення поверхні металевих тіл.

Рассмотрены непрерывные функции одной действительной переменной, которые имеют множество конечных уровней всюду второй категории. Доказано, что в случае нульмерности указанных отображений множество их бесконечных уровней нигде не плотно.

Ключевые слова: *уровень функции, нульмерное отображение, нигде не плотное множество, всюду плотное множество, множество второй категории*

ON THE SET OF THE FINAL LEVEL CONTINUOUS FUNCTIONS

V. Safonov, A. Neshchadym, A. Zinkevych

This paper considers continuous functions of real variable with a set of finite levels of the second category. We proved that in the case of zero-dimensionality, the set of its infinite levels is nowhere-dense.

Keywords: *level of function, zero-dimensional mapping, nowhere-dense set, dense set, set of the second category*

УДК 517.51

ІТЕРАЦІЙНІ МЕТОДИ В ЗАДАЧАХ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ МАТЕРІАЛІВ

Т.Г.Криворот, асистент
e-mail: tania.krivorot@gmail.com

Досліджено термомеханічні зв'язані процеси, застосовуючи основні рівняння і співвідношення динамічної зв'язаної задачі термомеханіки. Для розв'язку задачі використано апроксимаційні схеми Кранка-Нікольсона за часом в поєднанні з ітераційним процесом, застосовано ітераційний метод і метод скінченних елементів.

Ключові слова: *мікроструктурні перетворення, напружений стан, параметр, рівняння, модель, процес*

Постановка термомеханічної задачі включає: співвідношення Коші, рівняння руху, рівняння теплопровідності, початкові умови, граничні умови термомеханічного навантаження. Імпульсна обробка металу є ефективним методом підвищення міцності, зносостійкості та довговічності металевих елементів системи енергозабезпечення.

Мета досліджень – чисельне визначення мікроструктурних перетворень та напруженого стану при термомеханічному навантаженні.

Матеріали та методика досліджень. Задача є нелінійною і розв'язується чисельно кроковим методом за часом, моделює термічний та силовий фактор дії лазерного опромінення поверхні металевих тіл.

Результати досліджень. Задача розв'язується чисельно з використанням часової схеми, ітераційного методу і методу скінченних елементів. Розрахунок концентрації фаз розпаду переохолодженого аустеніту проводився за допомогою термкінетичної діаграми і співвідношень для питомих об'ємів фаз. Закон накопичення нової фази вздовж траєкторії згідно з законом Коїстінена–Марбургера апроксимується.

Розглядаються мікроструктурні перетворення у напівпросторі, на який діє термомеханічний імпульс. При цьому враховується вплив об'ємних і пластичних характеристик окремих фаз на напружений стан матеріалу. Задача, що розв'язується, моделює як термічний, так і силовий фактор дії лазерного опромінення поверхні металевих тіл при їх технологічній обробці, зокрема наклеп. Інтерес до таких задач обумовлений визначенням раціональних технологічних параметрів процесів зміцнення поверхонь металевих деталей [1].

Постановка також включає рівняння моделі Боднера–Партома.

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z}; \quad \varepsilon_{rr} = \frac{\partial u_r}{\partial r}; \quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{u_r}{r}; \quad \varepsilon_{rz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right),$$

де u_r і u_z – компоненти вектора переміщень; ε_{rr} , ε_{zz} , ε_{rz} і $\varepsilon_{\varphi\varphi}$ – компоненти тензора деформації.

$$\frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r} (\sigma_{rr} - \sigma_{\varphi\varphi}) + \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} = \rho \ddot{u}_r;$$

$$\frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \sigma_{rz} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} = \rho \ddot{u}_z,$$

де σ_{rr} , σ_{zz} , σ_{rz} і $\sigma_{\varphi\varphi}$ – компоненти тензора напружень; ρ – густина матеріалу,

$$c_V \dot{\theta} + 3\alpha \theta K_V (\dot{\varepsilon}_{kk} - 3\alpha \dot{\theta}) - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r k \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) - D' = r_s,$$

де θ – температура ($^{\circ}\text{C}$); α , c_V і k – коефіцієнти лінійного теплового розширення, теплоємності при сталому об'ємі і теплопровідності відповідно; K_V – модуль об'ємного стиску;

$$\dot{\varepsilon}_{kk} = \dot{\varepsilon}_{rr} + \dot{\varepsilon}_{zz} + \dot{\varepsilon}_{\varphi\varphi}.$$

$$u_r = \dot{u}_r = 0; \quad u_z = \dot{u}_z = 0; \quad \theta = \theta_0, \quad t = 0,$$

де θ_0 – початкова температура ($^{\circ}\text{C}$).

Розглядається напівпростір $z > 0$, $0 < r < \infty$. Припускається, що від нуля відмінна лише осьова компонента переміщення u_z , причому $u_z = u_z(z, t)$, а також $\theta = \theta(z, t)$. Із цих припущень задача для напівпростору еквівалентна задачі для стержня $0 < r < R$, $z > 0$, на бічній поверхні якого реалізуються умови жорсткого гладкого контакту і теплоізоляції:

$$u_r = 0, \quad \sigma_{rz} = 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial r} = 0, \quad r = R, \quad z > 0$$

з умовами (6) – (7) на торці $z = 0$.

$$-k \frac{\partial \theta}{\partial z} = \begin{cases} q_0 \sin \frac{\pi}{t_p} t, & t \leq t_p, \\ 0, & t > t_p; \end{cases}$$

$$\sigma_{zz} = \begin{cases} -p_0 \sin \frac{\pi}{t_\sigma} t, & t \leq t_\sigma, \\ 0, & t > t_\sigma, \end{cases}$$

де q_0 і p_0 – задані параметри навантаження; t_p , t_σ – часові параметри навантаження – терміни дії імпульсів, між якими приймається співвідношення $t_\sigma = 2t_p$.

При термомеханічному навантаженні на тіло одночасно діють термічне і механічне навантаження, що супроводжуються взаємодією парціальних термомеханічних процесів.

Термомеханічна поведінка матеріалу описується уніфікованою моделлю течії Боднера-Партома [3], яка узагальнена на випадок мультифазового складу матеріалу. Сутність узагальнення полягає у використанні правила сумішей для визначення параметрів моделі, що відповідають за границю течії і тимчасовий опір матеріалу.

Модель включає такі співвідношення:

– рівняння адитивності деформації $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^p + \varepsilon_{ij}^{\theta ph}$, $i, j = r, z, \varphi$,

– закон Гука $s_{ij} = 2G(e_{ij} - \varepsilon_{ij}^p)$, $\sigma_{kk} = 3K_v(\varepsilon_{kk} - \varepsilon_{kk}^{\theta ph})$,

– закон течії Прандтля-Рейса

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^p = D_0 \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{(\bar{K}_0 + K)^2}{3J_2} \right]^n \right\} \frac{s_{ij}}{\sqrt{J_2}}, \quad \dot{\varepsilon}_{kk}^p = 0, \quad \dot{\varepsilon}_{jj}^p(0) = 0,$$

– рівняння еволюції параметра ізотропного зміцнення

$$\dot{K} = m_1(\bar{K}_1 - K)\dot{W}^P, \quad K(0) = 0,$$

де G – модуль зсуву; K_v – модуль об'ємного стиску; s_{ij} , e_{ij} – девіатори тензорів напружень і деформації, $s_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij}\sigma_{kk}/3$, $e_{ij} = \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{kk}\delta_{ij}/3$; δ_{ij} – символ Кронекера; J_2 – другий інваріант тензора напружень, $J_2 = s_{ij}s_{ij}/2$; $\dot{W}^P$ – пластична потужність, $\dot{W}^P = \sigma_{ij}\dot{\varepsilon}_{ij}^p$; ε_{ij}^p , ε_{ij}^e – непружна і пружна складові деформації; $\varepsilon_{ij}^{\theta ph}$ – термофазова деформація, яка враховує зміну об'єму матеріалу при фазових перетвореннях і визначається через питомі об'єми та концентрації фаз, $\varepsilon_{ij}^{\theta ph} = \varepsilon^{\theta ph}\delta_{ij}$; D_0 , n , $\bar{K}_0$, $\bar{K}_1$ і m_1 – параметри моделі.

У цій роботі параметри моделі $\bar{K}_0$ і $\bar{K}_1$ для мультифазового складу матеріалу визначаються за допомогою лінійного правила сумішей.

$$K_0 \rightarrow \bar{K}_0 = K_0^{(\xi)} y_\xi;$$

$$K_1 \rightarrow \bar{K}_1 = K_1^{(\xi)} y_\xi,$$

де y_ξ – об'ємні концентрації мікроструктурних фаз,

$\xi = f, p, b, m$; $K_1^{(\xi)}$, $K_0^{(\xi)}$ – параметри моделі для відповідних фаз.

Закон накопичення нової фази вздовж траєкторії згідно з законом Коїстінена–Марбургера апроксимується виразом:

$$p_\xi = \left[1 - \exp \left(-k \frac{\theta_s - \theta}{\theta_s - \theta_e} \right) \right] p_{\xi e},$$

де θ , θ_s і θ_e – поточна температура і температури початку і кінця перетворення відповідно ($^{\circ}\text{C}$), $p_{\xi e}$ – максимальне значення нової фази; k – деякий коефіцієнт, його приймають $k=3$. Розрахунок фаз ґрунтується на припущенні, що процент нової фази визначається за формулою $p_\xi = p_{as} y_\xi$, де величина p_{as} – відсоток при вході кривої охолодження в область фазового переходу, а y_ξ – поточне значення відносної фази. Початковою структурою матеріалу вважається $a=0$, $b=0,79$, $f+p=0,11$, $m=0,10$ [2].

Розрахунки проводились для стержня радіусом $R=10^{-4}\text{ м}$, довжиною $L=5\cdot 10^{-3}\text{ м}$. Приймалося: $p_0=8\text{ ГПа}$, $q_0=2\cdot 10^{11}\text{ кВм/м}^2$, $t_p=1\cdot 10^{-8}\text{ с}$, початковий крок за часом дорівнював $dt=0,2\cdot 10^{-10}\text{ с}$. Початкова температура стержня θ_0 дорівнює 20°C .

Розпад аустеніту в мартенсит починається при температурі $\theta=\theta_H \approx 390^{\circ}\text{C}$. При чому $t_m \approx 0,34\cdot 10^{-7}\text{ с}$ – час початку ефекту. В області $0 < z \leq z_m$, де $z_m=1,27\cdot 10^{-7}\text{ м}$, збільшується об'єм мартенситної фази в порівнянні з аустенітною. Наростання концентрації мартенситу відбувається рівномірно у вказаній області, оскільки розподіл $\theta=\theta(z, t_m)$ при підході до θ_H є платоподібним. Це зумовлює фронтальний залишковий розподіл $m(z)$.

У приповерхневому шарі у момент часу виникають значні стискаючі напруження ГПа . Це зумовлено тим, що парціальні напруження термічної та механічної задачі накладаються.

Врахування залежності трансформаційних змін об'єму від мікроструктурного стану зумовлює більший рівень стискаючих радіальних напружень, які збільшують міцність і довговічність деталей конструкцій.

Висновки

У роботі для дослідження термомеханічних зв'язаних процесів

використовуються основні рівняння і співвідношення динамічної зв'язаної задачі термомеханіки. Задача є нелінійною і розв'язується чисельно кроковим методом за часом. Використовується ітераційний метод і метод кінцевих елементів. Рівняння руху інтегруються неявним методом Ньюмарка, а рівняння течії – неявним методом Ейлера. Нелінійна крайова задача розв'язується методом простої ітерації. Лінеаризована задача термомеханіки на кожній ітерації розв'язується методом скінченних елементів на базі варіаційного формулювання Лагранжа.

Список літератури

1. Коваленко В. С. Микро– и нанообработка сверхмощными лазерными импульсами / В. С. Коваленко // Оборудование и эксперимент для профессионалов. – 2003. – №4. – С. 4–14.
2. Сенченков И. К. Термодинамически согласованные модификации обобщенных моделей термовязкопластичности / И. К. Сенченков, Я. А. Жук, Г. А. Табиева // Прикл. механика. – 1998. – Т. 34, №4. – С. 53-60.
3. Шоршоров М. Х. Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке: Атлас./ М. Х. Шоршоров, В. В. Белов. – М.: Наука, 1972. – 220 с.

ИТЕРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛА

Т.Г.Криворот

Исследованы термомеханические связанные процессы, применяя основные уравнения и соотношения динамической связанной задачи термомеханики. Для решения задачи использованы аппроксимационные схемы Кранка-Никольсона по времени в сочетании с итерационным процессом, применены итерационный метод и метод конечных элементов.

Ключевые слова: микроструктурные преобразования, напряженное состояние, параметр, уравнения, модель, процесс

ITERATIVE METHODS IN THE TASK OF IMPROVING THE STRENGTH OF THE MATERIAL

T. Krivorot

Abstract thermomechanical related processes using basic equations and relations are dynamically linked thermomechanics problem. To solve the problem used approximation scheme Crank-Nicholson of time in conjunction with an iterative process, applied iterative method and finite element method..

Keywords: microstructural transformation, stresses state, parameter, equation, model, process