

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА
ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ



ПРАЦІ
Таврійського державного
агротехнологічного університету

Випуск 14 Том 2

Наукове фахове видання

Мелітополь – 2014

УДК 631.3

Т.3

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2014. – Вип. 14., Т. 2. – 162 с.

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,
Протокол № 2 від 30.09.2014 р.

У збірнику наукових праць опубліковано матеріали за результатами досліджень у галузі механізації сільського господарства, енергетики та автоматизації процесів агропромислового виробництва, прикладної геометрії та інженерної графіки.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, аспірантів, інженерно-технічного персоналу і студентів, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

Редакційна колегія праць ТДАТУ:

Кюрчев В.М. - к.т.н., проф., ректор ТДАТУ (головний редактор); Надикто В.Т. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (заступник головного редактора); Діордієв В.Т. - д.т.н., проф. (відповідальний секретар); Гнатушенко В.В. - д.т.н., проф.; Дідур В.А. - д.т.н., проф.; Єремєєв В.С. - д.т.н., проф.; Кушнар'єв А.С. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф.; Куценко Ю.М. – д.т.н., доц.; Леженкін О. М. - д.т.н. доц.; Малкіна В.М. – д.т.н., проф.; Овчаров В.В. - д.т.н., проф.; Панченко А.І. - д.т.н., проф.; Скляр О.Г. - к.т.н., доц.; Тарасенко В.В. - д.т.н., проф.; Шацький В.В. - д.т.н., с.н.с.; Федюшко Ю.М. – д.т.н., проф.; Фурман І.О.- д.т.н., проф.; Ялпачик Ф.Ю. - к.т.н., проф.

Відповідальний за випуск - д.т.н., проф. Діордієв В.Т.

Адреса редакції: ТДАТУ

просп. Б. Хмельницького 18,
м. Мелітополь Запорізька обл.
72312 Україна

ISSN 2078-0877

**© Таврійський державний
агротехнологічний університет, 2014**

**МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА**

УДК 514.18

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ
МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ ПО ПЛОСКОЙ КРИВОЙ**

Булгаков В. М., д.т.н., академик НААН України,

Пилипака С. Ф., д.т.н.,

Захарова Т. Н., асп.,*

*Национальный университет биоресурсов и природопользования
Украины*

Адамчук О. В., ст. науч. сотр.

*Национальный научный центр “Института механизации и
электрификации сельского хозяйства” НААН Украины*

Тел. (044) 527-82-26, e-mail: vbulgakov@meta.ua

Аннотация - рассмотрено построение математической модели движения материальной точки, в результате решения на ЭВМ которой найдены плоские кривые как ортогональные сечения цилиндрических поверхностей с горизонтальными образующими, обеспечивающие постоянную силу давления при движении частицы по кривой с постоянной скоростью. Составлены новые дифференциальные уравнения движения материальной точки по плоской траектории на поверхности цилиндра. Осуществлена визуализация полученных результатов. Рассмотрены отдельные случаи движения, когда сила давления на поверхность больше, меньше или равна весу частицы и когда реакция поверхности равна нулю. Данная теория может быть успешно использована при проектировании отвальных поверхностей почвообрабатывающих машин.

Ключевые слова - математическая модель, плоская кривая, длина дуги, натуральный параметр, давление, скорость движения.

Постановка проблемы. Совокупность почвообрабатывающих орудий, которые применяются в настоящее время, имеют один из существенных недостатков, связанный с неравномерным износом рабочих поверхностей в процессе эксплуатации. Все это, в конечном итоге,

© Булгаков В. М., Пилипака С. Ф., Захарова Т. Н., Адамчук О. В.

*Научный руководитель - д.т.н., проф. Пилипака С. Ф.

приводит к дополнительным технологическим затратам на восстановление и ремонт или даже на замену рабочих органов. Как установлено [1,2], неравномерный износ является следствием переменной силы давления почвы как совокупности материальных частиц, действующих на рабочую поверхность рабочих органов. Данная задача может быть решена путем поиска таких поверхностей, при движении по которым будет обеспечена, по возможности, постоянная сила давления почвы на их поверхность.

При этом, при построении математической модели, будем рассматривать цилиндрические поверхности, поскольку они довольно широко используются в сельскохозяйственных машинах как рабочие органы, которые взаимодействуют с разными технологическими материалами.

Анализ последних публикаций. Исследованием движения материальных частиц по поверхности, в том числе по цилиндрической, занимались академики В.П. Горячкин [1], П.М. Василенко и П.М. Заика [2, 3]. Движение частицы по внутренней поверхности наклонного стационарного цилиндра под действием силы собственного веса рассмотрено в работе [4]. Движение частиц по гравитационным поверхностям исследовано в работах [5-8]. В работе [9] рассмотрено движение частицы по внутренней поверхности горизонтального цилиндра, вращающегося вокруг своей оси, а в работе [10] – по внутренней поверхности наклонного цилиндра. Аналогичные случаи уточненной теории движения материальной точки (частицы) представлены в работах [12-14].

Формулировка целей статьи. Построить новую математическую модель движения материальной точки и найти поверхности равномерного износа путем поиска плоских кривых ортогональных сечений горизонтальных цилиндров, по которым частица движется с постоянной скоростью и имеет постоянную силу давления на поверхность.

Основная часть. При построении математической модели движения материальной точки (частицы) рассмотрим ее движение по плоской кривой – ортогональному сечению цилиндрической поверхности с горизонтальными образующими.

Поскольку при движении материальной точки по любой криволинейной траектории (кривой) обязательно возникает ускорение w , даже если скорость V постоянная, состоящее из двух составляющих (рис. 1): одна составляющая характеризует быстроту изменения вектора скорости по величине, проецируется на орт касательной $\bar{\tau}$ и носит название тангенциального ускорения. Его величина определяется дифференцированием скорости V по времени t : $w_{\tau} = dV/dt$. Другая составляющая – нормальное или центростремительное ускорение характеризует быстроту изменения вектора скорости по направлению и

проецирується на орт главної нормалі \bar{n} . Його величина визначається произведением кривизны на квадрат скорости V : $w_n = V^2 k$. Таким образом, в векторном виде можно записать: $\bar{w} = \bar{\tau} dV/dt + \bar{n} V^2 k$. В случае, если скорость V является функцией длины дуги s (пути), то есть $V = V(s)$, то тангенциальное ускорение будет: $w_\tau = dV/dt = dV/ds \cdot ds/dt = V \cdot dV/ds$. Таким образом, вектор ускорения в проекциях на орты естественного трехгранника запишется:

$$\bar{w} \left\{ V \frac{dV}{ds}; \quad V^2 k; \quad 0 \right\} \quad (1)$$

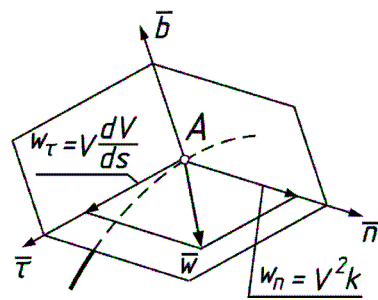


Рис. 1. Тангенциальное w_τ и центростремительное w_n ускорение вершины A естественного трехгранника в проекциях на его орты.

Согласно разложению вектора ускорения на орты естественного трехгранника (1), дифференциальные уравнения движения частицы в проекциях на орты запишутся так:

$$mV \frac{dV}{ds} = F_\tau; \quad mV^2 k = F_n, \quad (2)$$

где F_τ и F_n – проекции приложенных к частице сил.

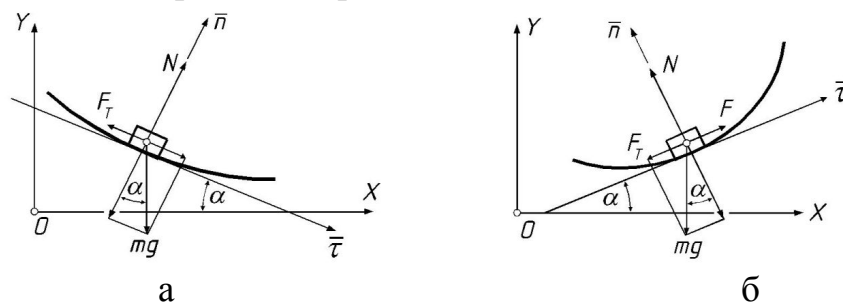


Рис. 2. Разложение действующих на частицу сил на орты естественного трехгранника: а) частица движется под действием силы собственного веса; б) частица движется под действием приложенной силы F .

Предположим, что частица движется по кривой под действием силы собственного веса mg (рис. 2,а). Тогда она разложится на орты трехгранника согласно углу α , который является переменным и является углом между двумя системами: подвижного естественного трехгранника и неподвижной декартовой системой OXY . На частицу еще действуют сила реакции N , направленная вдоль нормали, и сила тре-

ния F_{τ} , направленная вдоль орта касательной в противоположную сторону от направления движения (рис. 2 а). С учетом этих сил уравнения (2) принимают вид:

$$mV \frac{dV}{ds} = mg \sin \alpha - F_{\tau}; \quad mV^2 k = N - mg \cos \alpha \quad (3)$$

Как известно, сила трения F_{τ} численно равна произведению силы нормальной реакции N на коэффициент трения f : $F_{\tau} = fN$. Из второго уравнения (3) определяем: $N = mV^2 k + mg \cos \alpha$. С учетом этих выражений первое уравнение (3) принимает вид:

$$mV \frac{dV}{ds} = mg \sin \alpha - f(mV^2 k + mg \cos \alpha) \quad (4)$$

Дифференциальное уравнение (4) можно сократить на массу m частицы. Чтобы его решить, нужно задать кривую натуральным уравнением $k=k(s)$ и искать закон движения в виде $V=V(s)$, либо же задать закон движения $V=V(s)$ и искать соответствующую кривую.

Пусть, например, скорость движения частицы будет постоянной ($V=const$). Найдем соответствующую линию, которая ее обеспечит. Согласно (4) будем иметь:

$$g \sin \alpha - f(V^2 k + g \cos \alpha) = 0 \quad (5)$$

Уравнение (5) имеет два решения. Первое – прямая линия $k=0$. Решая (5) при $k=0$, получим: $f=tg\alpha$, то есть прямая линия должна быть наклонена под углом трения к горизонту. Второе решение предполагает, что $k \neq 0$, то есть линия будет кривой. Это решение рассмотрим позже.

Пусть частица движется по кривой под действием приложенной силы F (рис. 2,б). Уравнения (2) приобретают вид:

$$mV \frac{dV}{ds} = -mg \sin \alpha - F_{\tau} + F; \quad mV^2 k = N - mg \cos \alpha \quad (6)$$

Поставим условие, чтобы частица двигалась вверх с постоянной скоростью $V=const$ и при этом сила реакции N (сила давления) тоже была постоянной. В практическом плане поверхность с искомым сечением будет изнашиваться равномерно и для почвообрабатывающих орудий, возможно, менее склонна к залипанию. Преобразуем второе уравнение (6):

$$\frac{V^2}{g} k + \cos \alpha = \frac{N}{mg} \quad (7)$$

Отношение N/mg является постоянной величиной и показывает, какую часть от веса частицы представляет сила давления на поверхность. Обозначим его через a_N и решим уравнение (7) относительно $k=d\alpha/ds$:

$$\frac{d\alpha}{ds} = \frac{g}{V^2} (a_N - \cos \alpha) \quad (8)$$

После деления переменных интегрирование уравнения (8) возможно для двух случаев: $a_N > 1$ (то есть сила давления на поверхность больше веса частицы) и $a_N < 1$ (сила давления меньше веса частицы). Запишем эти интегралы (постоянную интегрирования опускаем):

$$s = \frac{V^2}{g} \int \frac{d\alpha}{a_N - \cos \alpha} = \frac{2V^2}{g\sqrt{a_N^2 - 1}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{a_N + 1}{a_N - 1}} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (a_N > 1)$$

$$s = \frac{V^2}{g} \int \frac{d\alpha}{a_N - \cos \alpha} = \frac{V^2}{g\sqrt{1 - a_N^2}} \ln \frac{(1 + a_N) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \sqrt{1 - a_N^2}}{(1 + a_N) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \sqrt{1 - a_N^2}}. \quad (a_N < 1) \quad (9)$$

В уравнениях (9) перейдем от зависимости $s=s(\alpha)$ к натуральному уравнению $k=k(s)$. Это можно сделать двумя путями: либо в уравнениях (9) перейти к зависимости $\alpha=\alpha(s)$ и продифференцировать по s , либо же, решая (9) совместно с (8), исключить общий параметр α . Натуральные уравнения для первого случая ($a_N > 1$) имеют следующий вид:

$$k = \frac{g(a_N^2 - 1)}{V^2 \left[a_N + \cos \left(\frac{gs}{V^2} \sqrt{a_N^2 - 1} \right) \right]}. \quad (10)$$

Для второго случая ($a_N < 1$):

$$k = \frac{g(1 - a_N^2)}{V^2 \left(-a_N + \cosh \frac{g\sqrt{1 - a_N^2}}{V^2} s \right)}. \quad (11)$$

Натуральные уравнения (10) и (11) задают кривые независимо от их положения и поворота на плоскости. Чтобы их построить, необходимо перейти к координатной форме записи, например, к параметрическим уравнениям. Надлежащее расположение кривых на плоскости в соответствии с действующими силами выбирается при переходе установлением начальных условий (присвоением необходимых значений постоянным интегрирования). Для перехода воспользуемся известными зависимостями [11], перейдя к независимой переменной α :

$$\frac{dx}{d\alpha} \frac{d\alpha}{ds} = \cos \alpha, \quad \text{откуда} \quad \frac{dx}{d\alpha} = \cos \alpha \div \frac{d\alpha}{ds}. \quad (12)$$

$$\text{Аналогично:} \quad \frac{dy}{d\alpha} = \sin \alpha \div \frac{d\alpha}{ds}. \quad (13)$$

Подставив в (12) и (13) выражение da/ds из (8), получим зависимости для поиска координат x и y кривой:

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{V^2}{g} \int \frac{\cos \alpha d\alpha}{a_N - \cos \alpha} = \frac{a_N V^2}{g} \int \frac{d\alpha}{a_N - \cos \alpha} - \frac{V^2}{g} \alpha; \\
 y &= \frac{V^2}{g} \int \frac{\sin \alpha d\alpha}{a_N - \cos \alpha} = \frac{V^2}{g} \ln(a_N - \cos \alpha).
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Из (14) видно, что после интегрирования зависимость $y=y(\alpha)$ имеет простой вид, а выражение для координаты $x=x(\alpha)$ сводится к интегралам (9), и оно распадается на зависимости для $a_N > 1$ и $a_N < 1$:

$$x = \frac{2a_N V^2}{g \sqrt{a_N^2 - 1}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{a_N + 1}{a_N - 1}} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \frac{V^2}{g} \alpha; \quad (a_N > 1) \tag{15}$$

$$x = \frac{a_N V^2}{g \sqrt{1 - a_N^2}} \ln \frac{(1 + a_N) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \sqrt{1 - a_N^2}}{(1 + a_N) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \sqrt{1 - a_N^2}} - \frac{V^2}{g} \alpha. \quad (a_N < 1) \tag{16}$$

Таким образом, можно записать параметрические уравнения кривой, по которой движется частица с постоянной скоростью и имеет постоянную силу давления на поверхность, для двух случаев. В первом случае постоянная $a_N > 1$, то есть сила давления больше силы собственного веса частицы:

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{2a_N V^2}{g \sqrt{a_N^2 - 1}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{a_N + 1}{a_N - 1}} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \frac{V^2}{g} \alpha; \\
 y &= \frac{V^2}{g} \ln(a_N - \cos \alpha). \quad (a_N > 1)
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

Во втором случае постоянная $a_N < 1$, то есть сила давления меньше силы собственного веса частицы:

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{a_N V^2}{g \sqrt{1 - a_N^2}} \ln \left[\frac{(1 + a_N) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \sqrt{1 - a_N^2}}{(1 + a_N) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \sqrt{1 - a_N^2}} \right] - \frac{V^2}{g} \alpha; \\
 y &= \frac{V^2}{g} \ln(a_N - \cos \alpha). \quad (a_N < 1)
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Используя выражение длины дуги (9), можно перейти к параметрическим уравнениям в функции натурального параметра s , исключив при этом угол α . Например, решая совместно (17) и первое уравнение (9), после исключения α получим:

$$\begin{aligned}
 x &= a_N s - \frac{2V^2}{g} \operatorname{arctg} \left[\sqrt{\frac{a_N - 1}{a_N + 1}} \operatorname{tg} \left(\frac{gs}{2V^2} \sqrt{a_N^2 - 1} \right) \right]; \\
 y &= \frac{V^2}{g} \ln \left[\frac{a_N^2 - 1}{a_N + \cos \left(\frac{gs}{V^2} \sqrt{a_N^2 - 1} \right)} \right]. \quad (a_N > 1)
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Аналогічно получим параметрические уравнения кривой для случая $a_N < 1$, решая совместно (18) и второе уравнение (9):

$$x = -a_N s + \frac{2V^2}{g} \operatorname{arctg} \left[\frac{\sqrt{1+a_N} \tanh\left(\frac{gs}{2V^2} \sqrt{1-a_N^2}\right)}{\sqrt{1-a_N}} \right];$$

$$y = \frac{V^2}{g} \ln \left[\frac{1-a_N^2}{-a_N + \cosh\left(\frac{gs}{V^2} \sqrt{1-a_N^2}\right)} \right]. \quad (a_N < 1) \quad (20)$$

Чтобы понять сущность разграничения кривых на случаи $a_N > 1$ и $a_N < 1$, рассмотрение начнем со второго случая при $a_N = 0$ (это значение удовлетворяет второму случаю и определенным образом делит соответствующую группу кривых на две подгруппы). При $a_N = 0$ натуральное уравнение (11) значительно упрощается и приобретает вид:

$$k = \frac{g}{V^2} \operatorname{sech} \left(\frac{g}{V^2} s \right). \quad (21)$$

Кривая, описанная натуральным уравнением (21), в научной литературе известна под названием цепной линии равного сопротивления. Постоянной величиной в уравнении (21) этой линии служит отношение g/V^2 . Для ее построения воспользуемся параметрическими уравнениями (18), которые тоже значительно упрощаются при $a_N = 0$. Кривые представлены на рис. 3.

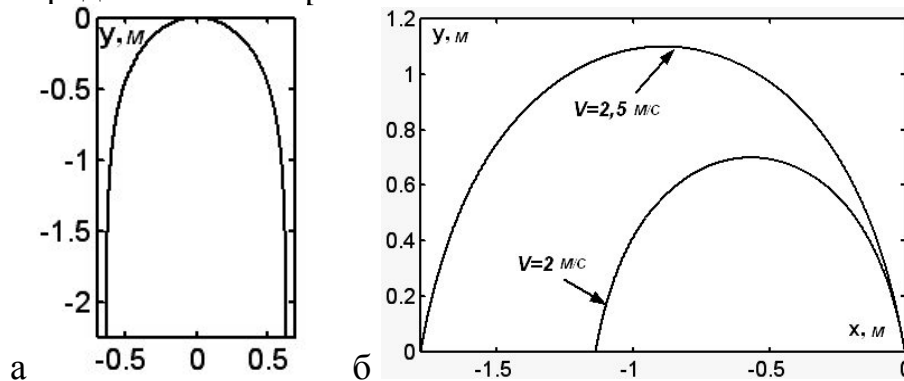


Рис. 3. Кривая, имеющая натуральное уравнение (21) и описанная параметрическими уравнениями (18) и (20) при $a_N = 0$:

а) $V = 2 \text{ м/с}$, $\alpha = -90^\circ \dots 90^\circ$; б) $\alpha = -80^\circ \dots 80^\circ$.

Равенство $a_N = 0$ означает, что реакция поверхности равна нулю, то есть такая кривая является траекторией полета частицы (тела) с постоянной скоростью движения без учета сопротивления воздуха. Например, нижние участки траектории движения (рис. 3,а) практически являются вертикальными прямыми, поэтому частица никакого давления на соответствующую поверхность оказывать не будет. На остальной части кривой составляющая силы веса уравновешивается составляющей центробежной силы.

Из курса теоретической механики известно, что тело, брошенное под углом к горизонту, движется по параболе, однако скорость движения при этом является переменной. На рис. 3,б построены траектории частицы с различной постоянной скоростью движения с начальным углом подъема 80° (поэтому для построения кривой в этом случае удобнее воспользоваться уравнениями (18), а не (20), поскольку сразу известны пределы изменения переменной α). Кривые похожи на параболу, а незначительные отличия от нее обусловлены тем, что частица движется с постоянной скоростью V . Для обеспечения такого полета нужно поддерживать постоянную скорость, которую обеспечивает сила F , действующая по касательной (рис. 2,б). При необходимости ее можно найти из первого уравнения (6). Ввиду того, что скорость движения постоянная и сила трения отсутствует, оно приобретает вид:

$$F = mg \sin \alpha . \quad (22)$$

Таким образом, в нижней части траектории, когда угол α практически равен 90° (рис. 3.а), сила F равна весу частицы, то есть преодолевает силу тяжести при подъеме. По мере подъема она уменьшается и становится равной нулю в верхней точке траектории (при $\alpha=0$), а затем по этому же закону увеличивается, поменяв знак, то есть, тормозя падение. Поэтому цепную линию равного сопротивления можно считать прототипом параболы в смысле траектории свободного полета тела в поле тяжести земли с той лишь разницей, что по параболе тело движется лишь под действием силы собственного веса, а по цепной линии равного сопротивления – с дополнительной силой, которая обеспечивает постоянную скорость движения. Если поставить задачу, чтобы частица, имея постоянную скорость движения $2,5 \text{ м/с}$, двигалась не по верхней траектории (рис. 3.б), а по нижней, то необходимо сделать ограничивающий кожух в виде цилиндрической поверхности с сечением, которым является нижняя кривая. В этом случае возникает сила реакции N поверхности, которая при надлежащем подборе кривой тоже может быть постоянной. При этом она может быть больше веса частицы (тела) или меньше. Уравнения соответствующих кривых нами найдены. Возникает вопрос: какая линия соответствует коэффициенту $a_N = 1$, то есть случаю, когда сила реакции равна силе веса частицы? Очевидно, что это будет горизонтальная прямая линия. Этот же результат мы можем получить из натурального уравнения (11) при $a_N = 1$, откуда получаем: $k=0$.

Рассмотрим группу кривых, для которых сила реакции меньше веса частицы. Очевидно, что при этом $0 < a_N < 1$. Кривые для различных значений a_N из этого промежутка построены на рис. 4.

Все три кривые имеют петлю. При движении частицы по кривой в пределах петли она находится внутри ее. Такое движение будем называть движением по внутренней стороне поверхности. По мере уве-

личения силы реакции поверхности от нуля к значению, близкому единице, кривая трансформируется, но петля не исчезает. Ветви кривой, уходящие в бесконечность, приближаются к прямой линии. В частности, при $a_N = 0,5$ (рис. 4,б) ветвь наклонена к горизонту под углом, равным примерно 60° , что соответствует положению частицы на плоскости, наклоненной под этим же углом. При a_N , близком к единице (рис. 4,в), ветви в бесконечности приближаются к горизонтальной прямой.

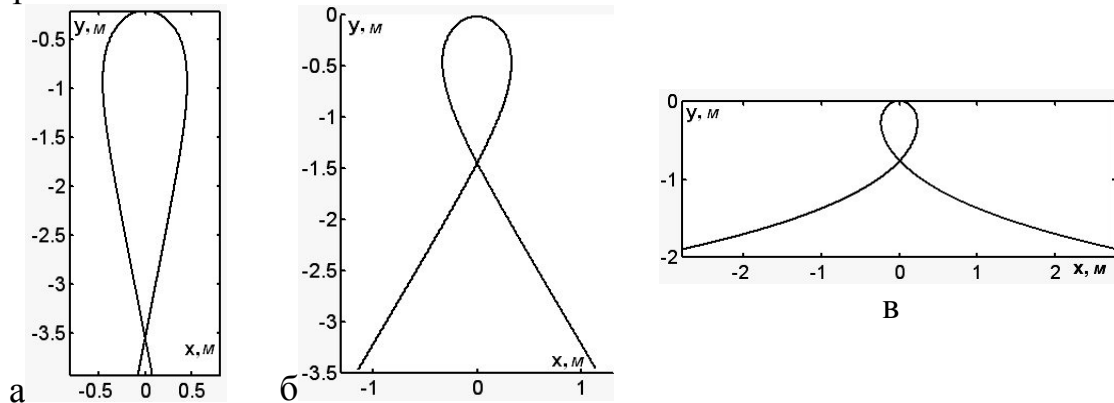


Рис. 4. Кривые, построенные по параметрическим уравнениям (20) при $V=2$ м/с и различных значениях a_N :

а) $a_N = 0,2$ б) $a_N = 0,5$; в) $a_N = 0,995$.

Рассмотренные кривые составляют первую подгруппу, поскольку существует другая подгруппа кривых, построенных при тех же значениях коэффициента a_N , но взятого со знаком «минус». При этом условие $a_N < 1$ не нарушается, поэтому эти две подгруппы объединены в группу кривых, при движении частицы по которым с постоянной скоростью возникающая сила реакции меньше силы веса частицы. Эти кривые приведены на рис. 5.

Приведенные кривые не имеют петли. Частица при движении по кривой находится все время над ней. Такое движение будем называть движением по внешней стороне поверхности. Интересно, что при равных по абсолютной величине значениях a_N (то есть при одинаковой силе давления) кривые первой и второй подгрупп имеют ветви, уходящие в бесконечность и имеющие одинаковый наклон (рис. 4,б и рис. 5,б). При движении частицы по внутренней стороне поверхности в первом случае либо же по внешней во втором частица на ветви, уходящей в бесконечность, занимает одинаковое положение – над кривой. По мере увеличения силы реакции поверхности от нуля к значению, близкому к единице, кривая этой подгруппы трансформируется, плавно приближаясь к горизонтальной прямой.

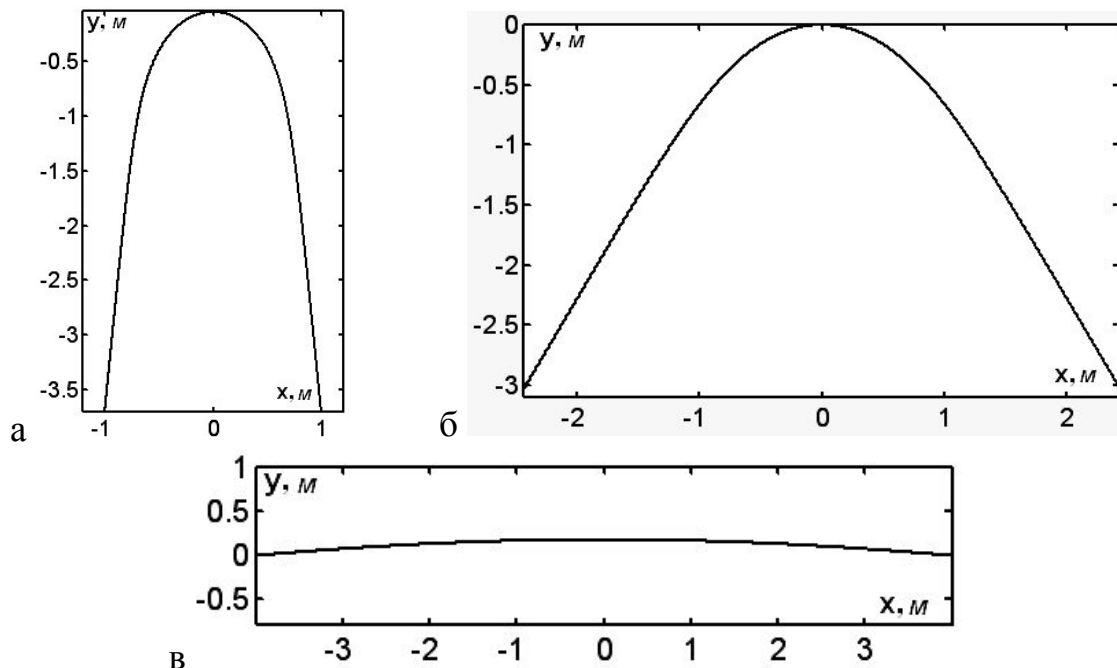


Рис. 5. Кривые, построенные по параметрическим уравнениям (20) при $V=2$ м/с и различных значениях a_N :
 а) $a_N = -0,1$; б) $a_N = -0,5$; в) $a_N = -0,99$.

Рассмотрим вторую группу кривых, соответствующих значению $a_N > 1$. Эти кривые, построенные по уравнениям (14) или (19), представлены на рис. 6.

Для представленных кривых характерно только одностороннее движение частицы, которое по принятому определению соответствует движению по внутренней стороне. Кривые периодические и имеют петли. На рис. 6 они представлены в разных масштабах. Учитывая это обстоятельство, нетрудно увидеть, что по мере приближения коэффициента a_N к единице кривая увеличивается в размерах и претерпевает изменения ее форма: значительно увеличивается период по сравнению с величиной петли. Плавный переход к прямой линии при приближении a_N к единице отсутствует. Таким образом, при стремлении коэффициента a_N к единице для двух групп кривых только в одном из трех случаев возможен плавный переход к прямой линии.

Влияние скорости V движения частицы на форму кривой во всех случаях одинаковое. Если проанализировать параметрические уравнения кривых (17), (19), то можно сделать вывод, что V^2 играет роль масштабного коэффициента. При заданном значении коэффициента a_N увеличение скорости движения в два раза влечет за собой увеличение размеров кривой в четыре раза.

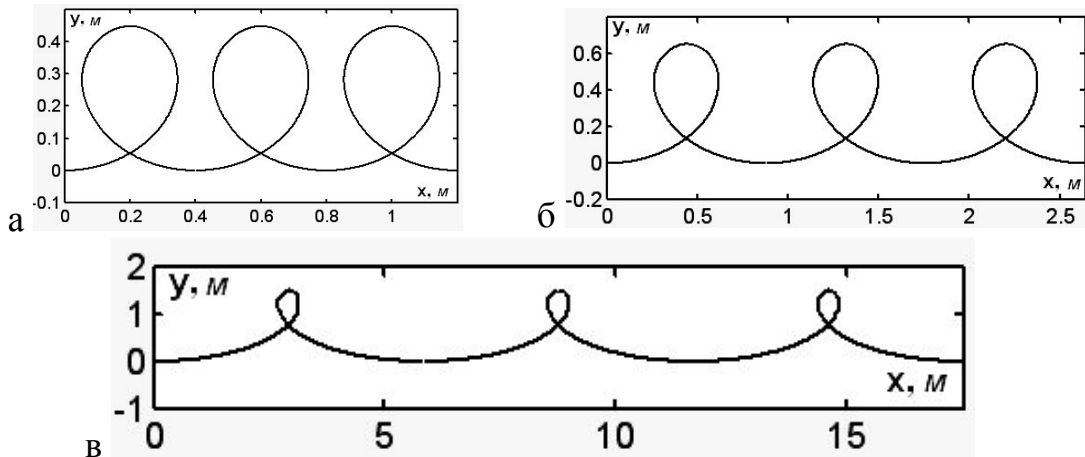


Рис. 6. Кривые, построенные по параметрическим уравнениям (17) при $V=2$ м/с и различных значениях a_N :

а) $a_N = 2$;

б) $a_N = 1,5$;

в) $a_N = 1,05$.

Рассмотрим пример. Пусть мотоциклисту-каскадеру нужно сделать петлю в виде кривой, представленной на рис. 6. Принимая массу мотоциклиста с мотоциклом за материальную частицу, рассчитать разность в высоте между высшей и низшей точками кривой при скорости $V = 100$ км/час $= 27,8$ м/с и перегрузке 20% ($a_N = 1,2$).

Нижняя точка будет при $\alpha = 0^\circ$, а высшая – при $\alpha = 180^\circ$. В соответствии с уравнением $y = y(\alpha)$ (14) будем иметь:

$$\Delta y = y_{\alpha=180} - y_{\alpha=0} = \frac{v^2}{g} \ln \frac{a_N + 1}{a_N - 1} = \frac{27,8^2}{9,81} \ln \frac{1,2 + 1}{1,2 - 1} = 189 \text{ (м)}. \quad (23)$$

Выводы. Разработана новая математическая модель движения материальной частицы (точки) и найденные плоские кривые – ортогональные сечения цилиндрических поверхностей с горизонтальными образующими, которые могут обеспечить постоянную силу давления (силу реакции) при движении частицы по кривой с постоянной скоростью. Такая поверхность будет изнашиваться равномерно и для почвообрабатывающих орудий будет не только менее склонна к залипанию, но и к изнашиванию.

Литература

1. Горячкин В. П. Собрание сочинений в трех томах / В. П. Горячкин. - Изд. 2-е. - М.: Колос, 1968. - Т. 3. - 455 с.
2. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко. - К.: УАСХН, 1960. - 283 с.
3. Заика П. М. Избранные задачи земледельческой механики / П. М. Заика. - К.: Изд-во УСХА, 1992. - 507 с.
4. Пилипака С. Ф. Дослідження руху матеріальної частинки по внутрішній поверхні стаціонарного циліндра / С. Ф. Пилипака [та ін.] // Вісник аграрної науки. - 2006. - № 2. - С. 48–54.

5. *Пилипака С.Ф.* Знаходження траєкторій руху матеріальної частинки по внутрішній поверхні вертикального циліндра при боковій подачі матеріалу / *С. Ф. Пилипака* [та ін.] // *Механізація сільськогосподарського виробництва: вісник ХДТУСГ.* – Харків, 2003. – Вип. 20. – С. 91–99.

6. *Пилипака С. Ф.* Знаходження траєкторії руху матеріальної точки по гравітаційній розгортній поверхні на прикладі розгортного гелікоїда / *С. Ф. Пилипака* [та ін.] // *Механізація і енергетика сільського господарства: IV міжнародна науково-технічна конференція MOTROL-2003.* – К.: НАУ, 2003. – Т. 6. – С. 113–126.

7. *Пилипака С. Ф.* Знаходження траєкторії руху матеріальної частинки по гравітаційних лінійчатих поверхнях із горизонтальними твірними / *С. Ф. Пилипака* [та ін.] // *Механізація сільськогосподарського виробництва: збірник наукових праць НАУ.* – К., 2002. – Т.12. - С.58–69.

8. *Пилипака С. Ф.* Особливості руху матеріальної частинки по гравітаційних лінійчатих поверхнях / *С. Ф. Пилипака* [та ін.] // *Механізація сільськогосподарського виробництва: вісник ХДТУСГ.* – Харків, 2003. – Вип. 21. – С. 75–87.

9. *Пилипака С. Ф.* Дослідження руху матеріальної частинки по внутрішній поверхні горизонтального циліндра / *С. Ф. Пилипака* [та ін.] // *Вісник аграрної науки.* – 2009. - № 2. – С. 52–56.

10. *Пилипака С. Ф.* Дослідження руху частинки по внутрішній поверхні похилого циліндра, що обертається навколо власної осі / *С. Ф. Пилипака, І. Ю. Грищенко, Т. С. Пилипака* // *Motoryzacja i energetyka rolnictwa / Motrol.* – Lublin, 2010. – Т. 12В. – С. 113–126.

11. *Пилипака С. Ф.* Розрахунок циліндричної поверхні, що забезпечує сталу силу тяги або сталу величину тиску матеріальної частинки, яка рухається по ній із постійною швидкістю / *С. Ф. Пилипака* [та ін.] // *Механізація сільськогосподарського виробництва: вісник ХДТУСГ.* – Харків, 2002. - Вип. 11. – С. 84–92.

12. *Адамчук В. В.* Дослідження руху частинки по плоскому диску, який обертається навколо перпендикулярної осі, нахиленої до горизонту / *В. В. Адамчук, В. М. Булгаков, С. Ф. Пилипака* // *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження.* – Львів, 2008. -№ 12 (2). –С. 189 – 197.

13. *Пилипака С. Ф.* Математична модель руху матеріальної частинки у відцентровому розсіювальному апараті із циліндричними лопатками / *С. Ф. Пилипака, В. В. Адамчук, В. М. Булгаков* // *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник.* – Кіровоград: КНТУ, 2009. – Вип. 39. – С. 3 – 11.

14. Булгаков В. М. Рух частинки по поверхні стрічки транспортера, довільно орієнтованої у просторі / В. М. Булгаков, С. Ф. Пилипака // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – Дніпропетровськ, 2009. - № 2. – С. 40 – 49.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ ПО ПЛОСКІЙ КРИВІЙ

В.М. Булгаков, С.Ф. Пилипака, Т.Н. Захарова, О.В. Адамчук

Анотація - розглянуто побудову математичної моделі руху матеріальної точки, в результаті розв'язання на ЕОМ якої знайдені плоскі криві як ортогональні перерізу циліндричних поверхонь з горизонтальними утворюючими, що забезпечують постійну силу тиску при русі частинки по кривій з постійною швидкістю. Складені нові диференціальні рівняння руху матеріальної точки по плоскій траєкторії на поверхні циліндра. Здійснено візуалізацію отриманих результатів. Розглянуто окремі випадки руху, коли сила тиску на поверхню більша, менша або дорівнює вазі частинки і коли реакція поверхні дорівнює нулю. Дана теорія може бути успішно використана при проектуванні відвальних поверхонь ґрунтообробних машин.

MATHEMATICAL MODEL OF MOTION THE MATERIAL POINT ON A PLANE CURVE

V. Bulgakov, S.Pilipaka, T.Zakharova, O.Adamchuk

Summary

We consider the construction of a mathematical model of motion of a material point, the solution of the computer on which found flat curves as orthogonal cross-sections of cylindrical surfaces with forming horizontal, ensures a constant pressure upon the motion of a particle on a curve with constant speed. To compile new differential equation of motion of a material point on a flat trajectory on the surface of the cylinder. Made visualization of the obtained results. Considered special cases of the motion when the pressure on the surface is greater than, less than or equal to the weight of the particles and when the response surface is equal to zero. This theory can be successfully used when designing the dump surface tillage machines.

УДК 631.3.001.2. (082)

АНАЛІЗ (ПАРАМЕТРИЧНИХ) КОЛИВАНЬ ВІБРОПЛУГА У ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ

Ловейкін В. С., д.т.н.,

Човнюк Ю. В., к.т.н.,

Дяченко Л. А., інж.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Тел.: (097)-647-11-57, e-mail: lubaandnastyaua@bigmir.net

Анотація - проведений аналіз можливих параметричних коливань вібропуга у горизонтальній площині. Визначені умови, за яких може бути реалізований аперіодичний рух вібропуга, а для збудження параметричних коливань системи ℓ -го порядку недостатньо параметричного збудження (переважають сили дисипації).

Ключові слова – параметричні коливання, вібропуг, амплітуда, резонанс, диференціальне рівняння, в'язке тертя, збудження.

Постановка проблеми. У процесі дослідження частинного випадку руху вібропуга, коли трактор має заданий поступальний рівномірний та прямолінійний рух, а вібропуг здійснює малі коливання (у т.ч. параметричного типу й походження) у горизонтальній площині навколо точки О, можливі ситуації виникнення параметричних резонансів ℓ -го порядку, які призводять до суттєвого збільшення амплітуди вказаних коливань, погіршення якості обробки ґрунту, рух втрачає свою стійкість та керованість. Для уникнення таких режимів руху вібропуга необхідно створити адекватну модель (фізико-механічну та математичну) і встановити умови, за яких подібні коливання зникають (суттєво пригнічуються), а сам рух вібропуга у горизонтальній площині стає аперіодичним й швидко затухаючим. На думку авторів даної роботи такі дослідження не проводились на належному рівні, а критерії аперіодичного руху вібропуга (за наявних параметричних збуджень ℓ -го порядку) зовсім не вивчені.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження нелінійних коливань механічних систем, у тому числі параметричного

походження, детально вивчені у роботах [1 -12], а у роботі [13] проведений аналіз руху плуга у горизонтальній площині. Параметричні коливання віброплуга у горизонтальній площині не вивчені зовсім. (В усякому разі, автори даної роботи не знайшли робіт, присвячених даній темі).

Формування цілей статті полягає у встановленні амплітудно-частотних характеристик параметричних коливань ℓ -го порядку при русі віброплуга у горизонтальній площині, а також умов, за яких подібні коливання не можуть бути реалізовані, що призводить до аперіодичних рухів віброплуга (тобто, переважно, на останній справляють суттєвий вплив дисипативні сили).

Основний зміст роботи. Розглянемо частинний випадок руху віброплуга, коли трактор (машинно-тракторний агрегат) має заданий поступальний та прямолінійний рух, а віброплуг здійснює малі коливання у горизонтальній площині навколо точки O . Для спрощення задачі, як і у [13], скористаємося принципом обернення руху – зупинимо трактор (МТА), і нехай ґрунт рухається зі швидкістю, яка дорівнює швидкості руху агрегату.

При прийнятих припущеннях диференціальне рівняння руху віброплуга:

$$I_z \cdot \ddot{\varphi} = x \cdot R_y - y \cdot R_x - (x_1 + y_1 \cdot f) \cdot N_1 - y_2 \cdot f_2 \cdot N_2 + M_z, \quad (1)$$

де I_z – момент інерції віброплуга відносно осі O_z , яка проходить через точку O перпендикулярно до поверхні поля;

R_x та R_y – проекції головного вектору \vec{R} сили опору ґрунту на осі O_x та O_y ;

x, y, x_1, x_2, y_1, y_2 – координати точок прикладання сил \vec{R}, \vec{N}_1 та \vec{N}_2 ;
 f_1 та f_2 – коефіцієнти тертя польової дошки й горизонтальних опор віброплуга з ґрунтом (врахований вплив вібраційної сили на дані коефіцієнти та поляризація вібраційного поля останньої за [12]);

\vec{N}_1, \vec{N}_2 - реакції стінки борони й горизонтальної опори віброплуга;

M_z – проекція вектору найменшого головного моменту на вісь O_z .

Розв'язок цього рівняння отримати доволі важко, оскільки значення сил R_x, R_y, N_1, N_2 й моменту M_z є випадковими функціями часу. Отже, у механічній задачі, що розглядається вивчення поставленого питання з високим ступенем точності виявляється неможливим. Щоб виключити труднощі, що виникли, вивчимо рух віброплуга та його реакцію на дію випадкових сил на аналогах. У даному випадку найбільш вдалим аналогом є лінійна система з одним ступенем вільності руху, яка має у своєму складі відновлюючий

момент $M = F(t) \cdot \ell \cdot \sin \varphi$ з в'язким демпфіруванням. Описаний аналог поданий на рис.1.

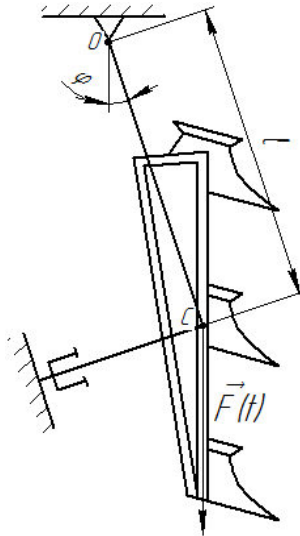


Рис. 1. Динамічна модель руху віброплуга у горизонтальній площині.

У відповідності з рис.1 диференціальне рівняння руху віброплуга буде мати вид:

$$I_z \cdot \ddot{\varphi} = -\mu \cdot \dot{\varphi} - F(t) \cdot \ell \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

Виражаючи силу збурення $F(t)$ у вигляді суми її середньої величини $F_{\text{сеп}}$, незалежної від часу t й випадкової величини $f(t)$, котра коливається навколо середньої і залежить від часу t , тобто $F(t) = F_{\text{сеп}} + f(t)$, розглянемо у подальшому малі коливання віброплуга, коли $\sin \varphi \approx \varphi$.

З урахуванням вище наведеного, запишемо диференціальне рівняння руху віброплуга:

$$I_z \cdot \ddot{\varphi} + \mu \cdot \dot{\varphi} + F_{\text{сеп}} \cdot \ell \cdot \varphi = -f(t) \cdot \ell \cdot \varphi, \quad (3)$$

або

$$\ddot{\varphi} + \frac{\mu \ell}{I_z} \cdot \dot{\varphi} + \frac{F_{\text{сеп}} \cdot \ell}{I_z} \cdot \varphi = -\frac{f(t) \cdot \ell \cdot \varphi}{I_z}. \quad (4)$$

Позначимо:

$$\frac{\mu \ell}{I_z} = 2n; \quad \frac{F_{\text{сеп}} \cdot \ell}{I_z} = k^2. \quad (5)$$

Після підстановки виразів (5) у диференціальне рівняння руху віброплуга (3) матимемо:

$$\ddot{\varphi} + 2n \cdot \dot{\varphi} + k^2 \cdot \varphi = -\frac{f(t) \cdot \ell \cdot \varphi}{I_z}, \quad (6)$$

де μ – в'язкісна, пропорційна кутовій швидкості, сила демпфірування на одиницю швидкості;

ℓ – відстань точки прикладання сил від точки O ;

n – коефіцієнт затухання коливань;

k – власна частота коливання системи.

Слід зазначити, що рух системи, описаний рівнянням (6), за повної відсутності сили збурення $f(t)$ представляє собою вільні коливання, які вивчені у [13].

Перетворимо рівняння (6):

$$\ddot{\varphi} + 2n \cdot \dot{\varphi} + k^2 \cdot \varphi \left[1 + \frac{\ell \cdot f(t)}{I_z \cdot k^2} \right] = 0, \quad (7)$$

і введемо позначення:

$$G(t) = \frac{\ell \cdot f(t)}{I_z \cdot k^2}. \quad (8)$$

З урахуванням (8) рівняння (7) набуває виду:

$$\ddot{\varphi} + 2n \cdot \dot{\varphi} + k^2 \cdot \varphi [1 + G(t)] = 0. \quad (9)$$

У подальшому для розв'язку й дослідження рівняння (9) використаємо підхід [12].

Вважатимемо $G(t)$ на кшталт параметричного збудження, яке є періодичною функцією часу t і не має у своєму складі постійної компоненти. Крім того, вважаємо, що $G(t) \ll 1$, тобто параметричне збудження є слабким. (В усякому разі, випадкову функцію часу $f(t)$ можна подати у вигляді ряду Фур'є).

Рівняння (9) має розв'язок $\varphi = 0$, який відповідає положенню рівноваги системи. Як і у лінійних системах, параметричне збудження може викликати нестійкість цього положення рівноваги і появу коливного процесу, котрий прийнято називати параметричним резонансом [12]. Однак, на відміну від лінійних систем, параметричні коливання нелінійної системи (коли не можна здійснювати заміну $\sin\varphi \leftrightarrow \varphi$) зазвичай виявляються обмеженими за амплітудою, у системі встановлюється деякий періодичний процес.

Дослідимо параметричні коливання у системі (9). При цьому визначимо умови нестійкості положення рівноваги та збудження параметричного резонансу, а також стаціонарні (періодичні) розв'язки рівнянь руху, зокрема, їх амплітуди.

Питання щодо стійкості положення рівноваги $\varphi = 0$ розв'язується шляхом дослідження лінеаризованих рівнянь руху (типу (9)). По суті, вказане рівняння Хілла. Відомо, що при зміні параметру k у рівнянні (9) від 0 до ∞ зони стійкості нульового рішення чергуються з зонами нестійкості. Останні розміщені поблизу значень

$$k = \frac{\omega}{2}; \omega; \frac{3}{2}\omega; \dots, \quad (10)$$

а їх ширина залежить від загального рівня параметричного збудження і від амплітуди гармонік у розкладі збудження у ряд Фур'є:

$$G(t) = \sum_{s=1}^{\infty} G_s \cdot \sin(s \cdot \omega \cdot t + \psi_s), G_s = \frac{\ell \cdot f_s}{I_z \cdot k^2}, f(t) = \sum_{s=1}^{\infty} f_s \cdot \sin(s \cdot \omega \cdot t + \psi_s), \quad (11)$$

де ω – характерна частота збуджень у системі (збуджень параметричного типу).

Нехай значення k у рівнянні (9) відповідає першій зоні нестійкості, тоді наближені періодичні розв'язки рівняння (9), які відповідають усталеним параметричним коливанням, слід шукати у формі:

$$\varphi = \varphi_0 + \varphi_a \cdot \cos\left(\frac{\omega}{2} \cdot t\right) \quad (12)$$

При наявності в'язкого тертя квадрат частоти вільних коливань консервативної системи визначається за формулою:

$$\Omega_1^2 = \frac{\omega^2 \pm \omega \sqrt{G_1^2 \cdot (4n_0^2 + \frac{\omega^2}{4}) - 16n_0^2}}{4 - G_1^2}, n_0 \equiv n. \quad (13)$$

Якщо:

$$G_1 < \frac{4n_0}{\sqrt{4n_0^2 + \frac{\omega^2}{4}}} = \frac{4n}{\sqrt{4n^2 + k^2}}, \quad (14)$$

тоді рівняння (13) не має дійсних коренів. Це означає, що параметричне збудження недостатнє для збудження параметричних коливань системи й переважають дисипативні сили.

Якщо значення k у рівнянні (9) лежить у m -ій зоні нестійкості, тоді наближений періодичний розв'язок слід шукати у формі:

$$\varphi = \varphi_0 + a \cdot \cos\left(\frac{m \cdot \omega}{2} \cdot t\right). \quad (15)$$

Квадрат частоти вільних коливань консервативної системи (за наявності в'язкого тертя) визначається зі співвідношення:

$$\Omega_m^2 = \frac{m^2 \cdot \omega^2 \pm m \cdot \omega \cdot \sqrt{G_m^2 \cdot (4n_0^2 + \frac{m^2 \cdot \omega^2}{4}) - 16n_0^2}}{4 - G_m^2} \quad (16)$$

Якщо:

$$G_m < \frac{4n_0}{\sqrt{4n^2 + \frac{m^2 \cdot \omega^2}{4}}} = \frac{4n}{\sqrt{4n^2 + k^2}}, \quad (17)$$

тоді параметричні коливання m -го порядку у системі не збуджуються, переважають дисипативні сили (процеси коливань не реалізуються, а існують лише аперіодичні затухаючі рухи).

Під час обробки ґрунту дуже важливим показником є швидкість самовстановлення віброплуга після дії на нього силових факторів, які його виводять із стану рівноваги. Тому бажано встановити достатні умови, за яких рух віброплуга завжди буде суто аперіодичним:

$$k \leq n. \quad (18)$$

Після підстановки у ці вирази k й n значень з (5) матимемо:

Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

$$\sqrt{\frac{F_{\text{сеп}} \cdot \ell}{I_z}} \leq \frac{\mu \ell}{2I_z} \quad (19)$$

Звідси маємо:

$$\mu \geq 2 \sqrt{\frac{I_z \cdot F_{\text{сеп}}}{\ell}} \quad (20)$$

Якщо подати в'язку силу демпфірування μ через питомий тиск q й площу поверхні деформації ґрунту польовою дошкою віброплуга S , тобто: $\mu = q \cdot S$, знайдемо умову, за якої реалізується аперіодичний рух віброплуга:

$$q \cdot S \geq 2 \sqrt{\frac{I_z \cdot F_{\text{сеп}}}{\ell}} \quad (21)$$

Виконання залежності (21) забезпечує віброплугу аперіодичний рух за будь – якого значення прикладеного до нього імпульсу сили.

Коефіцієнт $\mu = q \cdot S$ визначається експериментально, наприклад, за допомогою копра [13].

Висновки. Створена фізико-механічна модель для аналізу параметричних коливань віброплуга у горизонтальній площині, на основі якої встановлені умови їх збудження, а також достатні умови задля аперіодичного руху віброплуга, які залежать від конструктивних параметрів останнього та діючих силових факторів. Отримані у роботі результати можуть у подальшому слугувати для уточнення й вдосконалення існуючих інженерних методів розрахунку горизонтальних (параметричних) коливань віброплуга на стадії його конструювання проектування, а також у режимах реальної експлуатації.

Література

1. Боголюбов Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. / Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. – М.: Физматгиз, 1958. – 408с.
2. Болотин В.В. Динамическая устойчивость упругих систем. / В.В. Болотин. – М.: Гостехиздат, 1956. – 600с.
3. Вульфсон И.И. Нелинейные задачи динамики машин. / И.И. Вульфсон, М.З. Коловский. – Л.: Машиностроение, 1968. – 282с.
4. Ден–Гартон Дж.П. Механические колебания. / Дж. П. Ден–Гартон. – М.: Физматгиз, 1960. – 580с.
5. Каннингхем В. Введение в теорию нелинейных систем. / В. Каннингхем. – Л. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 456с.
6. Кац А.М. Вынужденные колебания нелинейных систем с одной степенью свободы, близких к консервативным. / А.М. Кац // прикладная математика и механика. –1955.–т. XIX. – Вып. 1.–С.13–32.
7. Коловский М.З. Нелинейная теория виброзащитных систем. / М.З. Коловский. – М.: Наука, 1966. – 317с.

8. *Пановко Я.Г.* Введение в теорию механических колебаний. / *Я.Г.Пановко.* – М.: Наука, 1971. – 240

9. *Стокер Дж.* Нелинейные колебания в механических и электрических системах. / *Дж. Стокер.* – М.: Изд. иностр. л-ры, 1933. – 356с.

10. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. / *С.П. Тимошенко.* – М.: Наука, 1967. – 444с.

11. *Хаяси Т.* Вынуждение колебания в нелинейных системах. / *Т.Хаяси.* – М.: Изд. иностр. л-ры, 1957. – 204с.

12. Вибрации в технике: справочник. В 6-ти т. / Ред. совет: *В.Н. Челомей* (пред.). – М.: Машиностроение, 1979. – Т.2. Колебания нелинейных механических систем. / Под ред. *И.И. Блехман.* – 1979. – 351с.

13. *Тураев Л.Д.* Движение плуга в горизонтальной плоскости. / *Л.Д. Тураев* // Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин. – 1975. №5. – С.3 – 6.

АНАЛИЗ (ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ) КОЛЕБАНИЙ ВИБРОПЛУГА В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

В. С. Ловейкин, Ю. В. Човнюк, Л. А. Дяченко

Аннотация - проведен анализ возможных параметрических колебаний виброплуга в горизонтальной плоскости. Определены условия, при которых может быть реализовано апериодическое движение виброплуга, а для возбуждения параметрических колебаний системы l -го порядка недостаточно параметрического возбуждения (преобладают силы диссипации).

THE ANALYSIS OF (PARAMETRIC) VIBRATIONS OF THE VIBRATING PLOUGH IN THE HORIZONTAL PLANE

V. Loveykin, Y. Chovnyuk, L. Dyachenko

Summary

The analysis of possible parametric oscillation of the vibrating plough in the horizontal plane has been made. The conditions under which aperiodic motion of the vibrating plough can be implemented have been determined. There is not enough parametric excitation to activate the parametric oscillation of the l -th order (the power of dissipation is predominant).

УДК 631.354:633.85

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВІДНОСНОГО РУХУ НАПІВНАВІСНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ЗБИРАННЯ РИЦИНИ

Леженкін О. М., д.т.н.,

Рубцов М. О., к.т.н.,

Головін С. В., інж.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-24-36

Анотація – розглянуті питання динаміки напівнавісного агрегату для збирання рицини, складена за допомогою рівнянь Лагранжу II роду система диференціальних рівнянь і отриманий її розв’язок.

Ключові слова – рицина, напівнавісний агрегат, узагальнені сили, узагальнені координати, узагальнені швидкості, диференціальні рівняння, відносний рух.

Постановка проблеми. Як відомо, рицина є дуже важливою культурою для народного господарства. Але в останні роки її виробництво практично припинено. Це пов’язано з відсутністю технічних засобів збирання врожаю. Комбайни, які випускалися за часів Радянського Союзу вже прийшли в повну непридатність, а нових рицинозбиральних комбайнів Україна, на жаль, не виробляє. Виходом з даної ситуації може бути розробка нових технологій збирання врожаю. Найбільш ефективною, на наш погляд, є технологія збирання врожаю методом обчісування рослин на корені. Для колосових та воротневих культур ця технологія вже розроблена і, навіть, є технічні засоби [1, 2, 3, 4]. Що стосується рицини, то такі роботи ведуться у Таврійському державному агротехнологічному університеті. На підставі проведених попередніх досліджень був розроблений модуль для збирання рицини методом обчісування на корені [5, 6, 7].

Конструктивні параметри цього модулю обґрунтовані в роботах [8, 9]. Але для обґрунтування стійкого руху напівнавісного агрегату необхідно провести дослідження динаміки.

Аналіз досліджень і публікацій. Першим почав дослідження динаміки агрегатів академік Горячкін В.П. [10]. Подальше продовження досліджень в цьому напрямку знайшло відображення у роботах академіка Василенка П.М. [11, 12]. Значний вклад у розвиток

динаміки агрегатів та стійкості їх руху був зроблений професором Гячевим Л.В. [13, 14]. Питання динаміки та стійкості руху причіпних зернозбиральних агрегатів розглянуті в роботах [15, 16, 17]. Стосовно напівнавісного агрегату для збирання рицини динаміці руху присвячені роботи [18, 19, 20]. Але в цілому динаміка агрегату такого класу ще не розглядалась.

Формулювання цілей статті. Побудувати математичні моделі відносного руху напівнавісного агрегату для збирання рицини.

Основна частина. Розглянемо напівнавісний агрегат для збирання рицини, що складається з обчисуючого модулю 2, який навішаний на трактор 1 (рис.1) [18].

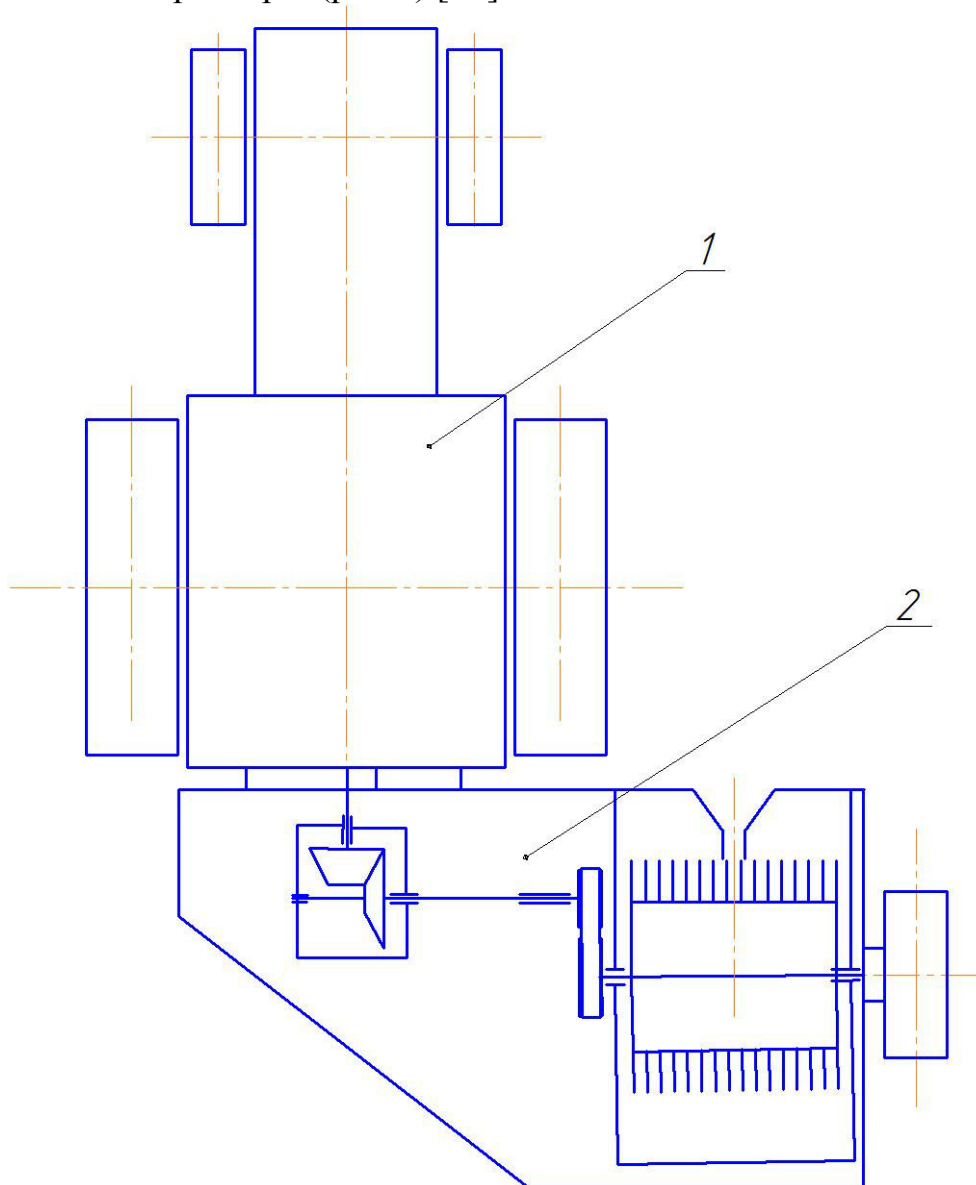


Рис. 1. Агрегат для збирання рицини методом обчисування.

Збиральний агрегат у відносному русі має два ступеня вільності і тому його положення визначається двома узагальненими

координатами. Переміщення центру мас трактора вздовж осі O_1X_1 визначиться узагальненою координатою X_{1P} . Поворот навколо осі, яка проходить через центр мас трактора, визначається узагальненою координатою φ . Розрахункову схему збирального модулю наведено на рисунку 2 [19].

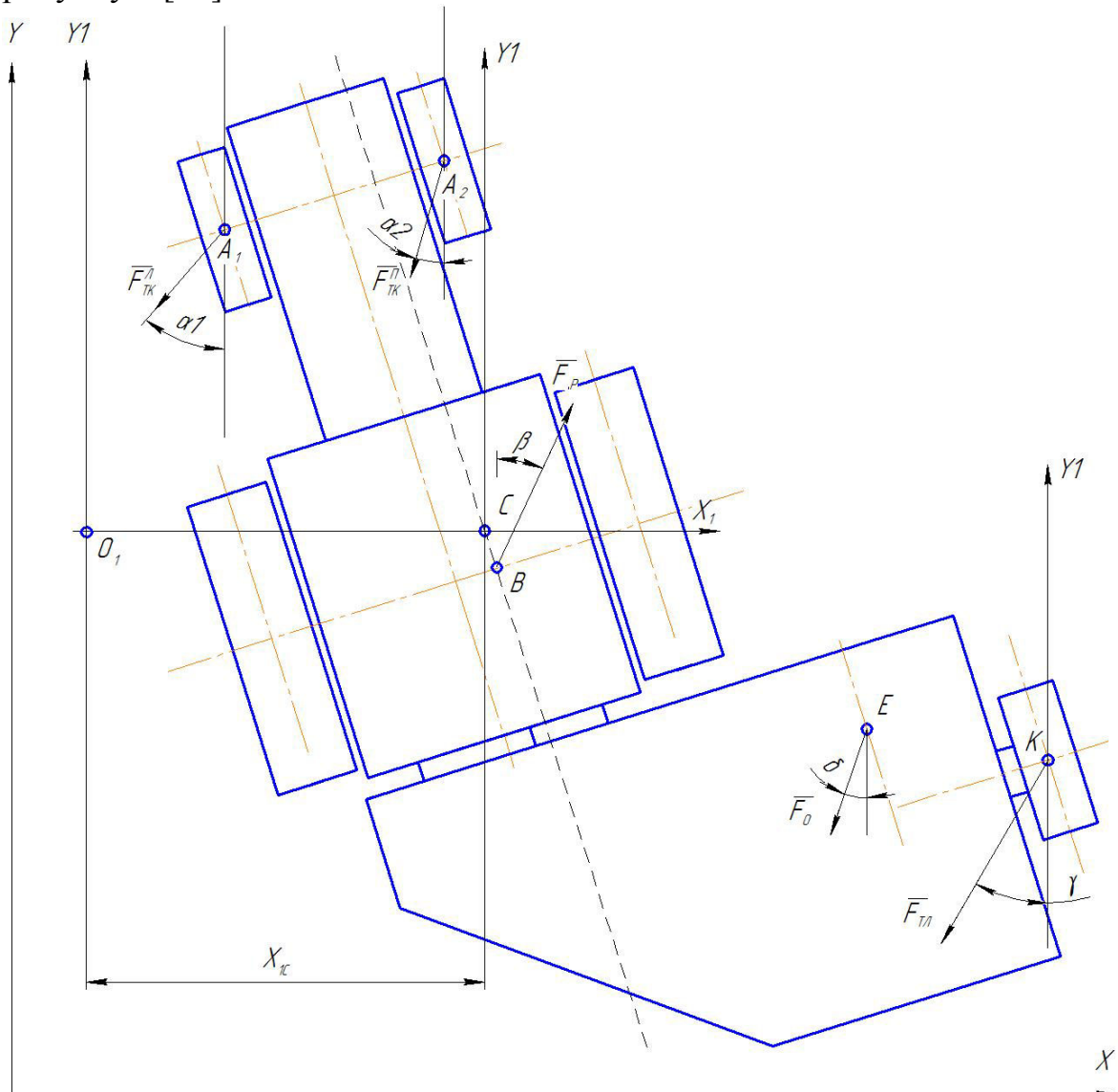


Рис. 2. Розрахункова схема збирального агрегату.

На збиральний агрегат діють наступні сили (рис.2).

$\overline{F_{TK}^L}$ і $\overline{F_{TK}^P}$ - сили тертя лівого та правого передніх коліс трактора;

$\overline{F_P}$ - головний вектор рушійних сил задніх коліс трактора;

$\overline{F_0}$ - головний вектор сил опору обчисуванню рослин;

$\overline{F_{TL}}$ - сила тертя опорної лижи.

Ці сили утворюють з координатними осями кути α_1 , α_2 , β , δ , γ , їх значення має загальний вигляд:

$$\alpha_1 = \frac{\dot{X}_{C_1} - \varphi \cdot a}{V_C}; \alpha_2 = \frac{\dot{X}_{C_1} - \varphi \cdot b}{V_C}; \beta = \frac{X_{C_1} + \varphi \cdot c}{V_C};$$

$$\gamma = \frac{X_{C_1} + \varphi \cdot k}{V_C}; \delta = \frac{X_{C_1} + \varphi \cdot d}{V_C}, \quad (1)$$

- де V_C - швидкість центру мас агрегату (переносна швидкість);
 a – відстань від центра мас агрегату до точки A_1 (центр лівого колеса трактора);
 b – відстань від центра мас агрегату до точки A_2 (центр правого колеса трактора);
 c – відстань від центра мас агрегату до задньої осі трактора;
 n – відстань від центра мас агрегату до центра лижи;
 l – відстань від центра мас агрегату до точки прикладення головного вектора сил опору обчисуванню рослин.

Для складання диференціальних рівнянь відносного руху збирального агрегату використовуємо рівняння Лагранжу II роду в узагальнених координатах [20]. Враховуючи, що агрегат має два ступеня вільності та в'язі в першому приближенні можна вважати головними, ми отримуємо систему двох диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial T}{\partial \dot{X}_C} \right] - \frac{\partial T}{\partial X_C} &= Q_1 \\ \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right] - \frac{\partial T}{\partial \varphi} &= Q_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

- де T – кінетична енергія агрегату;
 $\dot{X}_C, \dot{\varphi}$ – узагальнені швидкості;
 X_C, φ – узагальнені координати;
 Q_1, Q_2 – узагальнені сили, що відповідають узагальненим координатам та φ .

Визначимо кінетичну енергію відносного руху збирального агрегату. Кінетична енергія у відносному русі складається з кінетичної енергії поступального і обертального рухів. За відомими з теоретичної механіки формулами були визначені обидві складові, тобто кінетична енергія поступального та обертального рухів. Потім обидва вирази були складені та отримано вираз повної кінетичної енергії відносного руху [21]:

$$T = \frac{1}{2} (I_C \cdot \dot{\varphi}^2 + m \cdot \dot{X}_{1C}^2) \quad (3)$$

- де I_C – момент інерції агрегату відносно осі , яка проходить через центр мас;

m – маса агрегату.

Визначаємо частинні похідні від кінетичної енергії за узагальненими швидкостями:

$$\begin{aligned}\frac{\partial T}{\partial \dot{X}_{1C}} &= m \cdot \dot{X}_{1C}; \\ \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} &= I_C \cdot \dot{\varphi}.\end{aligned}\quad (4)$$

Продиференціюємо за часом вирази (4):

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial T}{\partial \dot{X}_{1C}} \right] &= m \cdot \ddot{X}_{1C}; \\ \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right] &= I_C \cdot \ddot{\varphi}.\end{aligned}\quad (5)$$

Знаходимо частинні похідні від кінетичної енергії за узагальненими координатами:

$$\frac{\partial T}{\partial X_{1C}} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0.\quad (6)$$

Підставляємо вирази (5) і (6) в рівняння (3)

$$\left. \begin{aligned}m \cdot \ddot{X}_{1C} &= Q_1 \\ I_C \cdot \ddot{\varphi} &= Q_2\end{aligned} \right\} \quad (7)$$

В правій частині диференціальних рівнянь (7) знаходяться узагальнені сили Q_1 і Q_2 , що відповідають узагальненим координатам X_{1C} та φ . Вирази цих сил були визначені в роботі [19] і вони мають загальний вид:

$$\begin{aligned}Q_1 &= -F_{TK}^n \cdot \alpha_1 - F_{TK}^n \cdot \alpha_2 + F_{TK}^l \cdot \beta + F_{TK}^n \cdot \beta + F_0 \cdot \beta + F_0 \cdot \delta - F_{TL} \cdot \gamma, \\ Q_2 &= F_{TK}^l \cdot \alpha_1 \cdot k + F_{TK}^n \cdot \varphi \cdot k + F_{TK}^n \cdot \alpha_1 \cdot k + F_{TK}^n \cdot \varphi \cdot k + F_{TK}^l \cdot \beta \cdot c + \\ &+ F_{TK}^n \cdot \beta \cdot c + F_0 \cdot \beta \cdot c + F_{TL} \cdot \beta \cdot c + F_{TK}^l \cdot \varphi \cdot c + F_{TK}^n \cdot \varphi \cdot c + F_0 \cdot \varphi \cdot c + \\ &+ F_{TL} \cdot \varphi \cdot c - F_0 \cdot \delta \cdot l - F_0 \cdot \varphi \cdot l - F_{TL} \cdot \gamma \cdot n - F_{TL} \cdot \varphi \cdot n.\end{aligned}\quad (8)$$

Після підстановки виразів узагальнених сил в рівняння (7) отримуємо систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned}m \cdot \ddot{X}_{1P} &= -F_{TK}^l \cdot \alpha_1 - F_{TK}^n \cdot \alpha_2 + F_{TK}^l \cdot \beta + F_{TK}^n \cdot \beta + F_0 \cdot \beta + F_0 \cdot \delta - F_{TL} \cdot \gamma, \\ I_P \cdot \ddot{\varphi} &= F_{TK}^l \cdot \alpha_1 \cdot k + F_{TK}^n \cdot \varphi \cdot k + F_{TK}^n \cdot \alpha_1 \cdot k + F_{TK}^n \cdot \varphi \cdot k + F_{TK}^l \cdot \beta \cdot c + \\ &+ F_{TK}^n \cdot \beta \cdot c + F_0 \cdot \beta \cdot c + F_{TL} \cdot \beta \cdot c + F_{TK}^l \cdot \varphi \cdot c + F_{TK}^n \cdot \varphi \cdot c + F_0 \cdot \varphi \cdot c + \\ &+ F_{TL} \cdot \varphi \cdot c - F_0 \cdot \delta \cdot l - F_0 \cdot \varphi \cdot l - F_{TL} \cdot \gamma \cdot n - F_{TL} \cdot \varphi \cdot n.\end{aligned}\quad (9)$$

Остаточно маємо наступну систему розв'язків:

Машина і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

$$\begin{aligned} \varphi &= C_1 \cdot y_1 + C_2 \cdot y_2 + C_3 \cdot y_3 \\ X_{1C} &= C_3 + C_4 \cdot e^{rt} + \tilde{Y}_2 \end{aligned} \quad (10)$$

де y_1, y_2, y_3 – лінійно незалежні розв’язки, які записуються в залежності від коренів характеристичного рівняння $\sigma^3 + e \cdot \sigma^2 + g \cdot \sigma + h = 0$;

C_1, C_2, C_3 – довільні сталі;

\tilde{Y}_2 – будь-який окремий розв’язок всього рівняння.

Висновки. Аналітичне дослідження динаміки руху напівнавісного агрегату для збирання рицини виконано з використанням рівнянь Лагранжу II роду в узагальнених координатах, при цьому, агрегат розглядався у відносному русі як механічна система з двома ступенями вільності. Отримані аналітичні залежності зміни узагальнених координат, які можна в подальшому використовувати для моделювання стійкості руху агрегату.

Література

1. *Шабанов П.А.* Механико-технологические основы обмолота зерновых культур на корню: Дис... докт.техн.наук / *П.А.Шабанов.* – Мелитополь – 1988. – 336 с.

2. *Леженкин А.Н.* Методология формирования энерго- и ресурсосберегающей технологии уборки зерновых культур в условиях фермерских хозяйств (на примере Украины): Авторефер. дис... докт.техн.наук / *А.Н.Леженкин,* МГАУ им. В.П.Горячкина. – Москва, 2008. – 39 с.

3. *Леженкин А.Н.* Перспективная технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств Юга Украины / *А.Н.Леженкин* // Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК: междунар.науч.конф. – Ярославль, 2003. – Ч.III. – С. 28-29.

4. *Кушнарев А.С.* Энергосберегающая технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств / *А.С.Кушнарев, А.Н.Леженкин* // Сб. докл. междунар. научн.- технич. конф. «Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав» / ТГАТА. – Мелитополь, 2003.- С. 17 – 21.

5. Пат. 37775 Україна, МПК7 А01D41/08, А01D45/30. Пристрій для збирання рицини / *В.А.Дідур, В.Т.Надикто, О.М.Леженкін, С.В.Головін* (Україна). – U200808162; заявл. 17.006.2008; опубл.12.07.08, Бюл.№23.

6. Пат. 50849 Україна, МПК7 А01D41/08, А01D45/30. Пристрій для збирання рицини / *С.В.Головін, О.М.Леженкін, В.А.Дідур* (Україна). - U200913555; заявл. 25.12.2009; опубл.25.06.2010, Бюл.№12.

7. Пат. 58913 Україна, МПК7 А01D41/08, А01D45/30. Пристрій

для збирання селекційних посівів рицини / *С.В.Головін*, ТДАТУ Промислова власність. - U2010.

8. *Головін С.В.* Моделі регресії обчислюючого модулю для збирання рицини з використанням пружних елементів / *С.В.Головін*. – Праці ТДАТУ / Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Модулювання технологічних процесів в АПК». – Мелітополь, 2010. – Вип.10., т.8. – С.289-297.

9. *Головін С.В.* Визначення основних конструктивних параметрів та режимів роботи обчислюючого модулю для збирання рицини / *С.В.Головін*. – Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. – Вип.12., т.5. – С.130-135.

10. *Горячкин В.П.* Теория масс и скоростей сельскохозяйственных машин и орудий / *В.П.Горячкин* // Собрание сочинений. – Т.1. – М.: Колос, 1965. – С.431-465.

11. *Василенко П.М.* Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и орудий / *П.М.Василенко* // Сборник трудов по земледельческой механике. – М., 1954. – с. 73 – 92.

12. *Василенко П.М.* О методике механико-математических изысканий при разработке сельскохозяйственной техники / *П.М.Василенко*. – М.: Бюро технической информации ГОСНИТИ, 196. – 280 с.

13. *Гячев Л.В.* Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов / *Л.В.Гячев*. – Ростов-на-Дону: РГУ, 1976. – 192 с.

14. *Гячев Л.В.* Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов / *Л.В.Гячев*. – М.: Машиностроение, 1981. – 206 с.

15. *Леженкин А.Н.* Динамика очесывающего агрегата при уборке зерновых культур / *А.Н.Леженкин* // Механиз. и электриф.сел.х-ва. – 2004. - №12. – С.24-25.

16. *Леженкин А.Н.* Дифференциальные уравнения прицепного уборочного агрегата при прямолинейном и равномерном движении центра масс трактора / *А.Н. Леженкин* // Механизация технологических процессов в АПК; Известия междунар.академии аграрного образования. – СПб, 2008. – Вып.6., т.1. – С.76-84.

17. *Леженкін О.М.* Аналітичне дослідження руху збирального агрегату / *О.М.Леженкін* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. – Вип.12, т.5. – С.73-79.

18. *Леженкін О.М.* Аналіз динамічних та кінематичних показників, що впливають на рух обчислюючого модулю для збирання рицини / *О.М.Леженкін, С.В.Головін* // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип.2, т.3. – Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/nvtdau>. – С.147-154.

19. *Леженкін О.М.* Визначення узагальнених сил діючих на

обчислюючий модуль для збирання рицини / *О.М.Леженкін, С.В.Головін* // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: КНТУ. – Кіровоград, 2012. – Вип.42, ч.ІІ. – С.59-64.

20. *Айзерман М.А.* Классическая механика / М.А.Айзерман. - М.: Наука, 1980. – 367 с.

21. *Леженкін О.М.* Визначення кінетичної енергії відносного руху агрегату для збирання рицини, як функції узагальнених швидкостей / *О.М.Леженкін, С.В.Головін* // Матеріали ІХ-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». – Кіровоград, 7-8 листопада 2013 року. – С.115-116.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЛУНАВЕСНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ УБОРКИ КЛЕЩЕВИНЫ

А.Н. Леженкин, М.О. Рубцов, С.В. Головин

Аннотация – в статье рассматриваются вопросы динамики полунавесного агрегата для уборки клещевины, составлена система дифференциальных уравнений его относительного движения с использованием уравнений Лагранжа II рода в обобщенных координатах и получено ее решение.

MATHEMATICAL MODELS OF RELATIVE MOVEMENT SEMIHINGED HARVESTING UNIT RICINUS

A. Lezhenkin, R. Rubcov, S. Golovin

Summary

The paper considers the dynamics of semi-mounted unit for cleaning castor, a system of differential equations of its relative motion using Lagrange equations II kind in generalized coordinates and obtained her decision.

УДК 631.354:633.1

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ БІОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОНЕНТІВ ОБЧЕСАНОГО ВОРОХУ ЗЕРНОВИХ

Кюрчев С. В., к.т.н.,

Леженкін І. О., асп.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (0619) 42-24-36, e-mail: kafedra-2002@mail.ru

Анотація – у статті розглядається аналіз розмірних характеристик компонентів обчесаного вороху зернових, а також надаються графіки щільності розподілу лінійних параметрів складових вороху.

Ключові слова – обчесаний ворох, вільне зерно, солома, обірвані колоски, щільність розподілу, статистичні характеристики.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день основною технологією збирання зернових є комбайнова технологія, але за останніх два десятиріччя кількість зернозбиральних комбайнів в Україні зменшилась більш, ніж у три рази [1], у зв'язку з цим значно зросло навантаження на один комбайн, і, як наслідок, зросли втрати зерна під час збирання. Розпочати в необхідній кількості власне виробництво зернозбиральних комбайнів в Україні на даний час невід'ємна проблема.

Вихід з цієї ситуації є, і він лежить у напрямку розробки нових технологій збирання врожаю зернових. Найбільш ефективною технологією збирання, на наш погляд, є технологія обчисування рослин на корені, з доробкою обчесаного вороху на стаціонарі.

Розробка даної технології пов'язана з розв'язанням двох задач. Перша задача – це створення збиральної машини з обчесуючими робочими органами. Друга задача – це розробка стаціонарного пункту доробки обчесаного вороху.

Якщо перша задача знаходиться у стадії завершення, то друга задача потребує значних зусиль. Першим шляхом розв'язання задачі доробки обчесаного вороху є його сепарація. У зв'язку з цим виникає проблема вивчення біометричних характеристик компонентів обчесаного вороху зернових.

Аналіз останніх публікацій. Механіко-технологічні основи

© Кюрчев С. В., Леженкін І. О.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Кюрчев С. В.

Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

обчісування рослин на корені розглянуті Шабановим П. А. у роботі [1]. Обґрунтування обчісуючих робочих органів наведено у роботах Голубева І. К. [2], Гончарова Б. І. [3], Данченка М. М. [4], Повіляя В. М. [5] та інших вчених лабораторії збиральних машин МІМСГ (нині ТДАТУ).

Обґрунтування пристрою для сепарації обчесаного вороху рису дається в роботі [6]. В той же час обчесаний ворох зернових суттєвим чином, відрізняється від обчесаного вороху рису. Це видно з досліджень [7, 8, 9, 10]. Але ці дослідження присвячені, головним чином вивченню фракційного складу обчесаного вороху зернових.

Формування мети статті. Визначити статистичні характеристики розмірних параметрів компонентів обчесаного вороху зернових.

Основна частина. В результаті дії обчісуючих робочих органів на суцвіття рослин отримується обчесаний ворох, який складається з вільного зерна, соломи, полови та обірваних колосків. Для отримання первинних даних про біометричні характеристики були проведені у польових умовах дослідження. Методика проведення досліджень була наступною. Збиральний агрегат (рис. 1) [11] проходив залікову ділянку, після його зупинки з причепа-возика відбиралися проби обчесаного вороху. За один прохід відбиралося по 5 проб, а всього було відібрано 50 проб. Ці проби у лабораторії розбиралися на фракції. Для визначення біометричних характеристик проводилися вимірювання лінійних розмірів складових кожної фракції. Всі отримані результати заносилися у журнал первинної інформації. Для подальшої обробки первинної інформації були використані методи теорії ймовірностей та математичної статистики [12, 13, 14].



Рис. 1. Загальний вид збирального агрегату.

Результати розрахунків статистичних характеристик біометрії обчесаного вороху озимої пшениці наведені у табл. 1.

Другим етапом статистичного аналізу біометрії компонентів обчесаного вороху був розрахунок параметрів розподілу та побудова кривих щільності розподілу розмірних характеристик кожної складової обчесаного вороху. Для оцінки адекватності отриманих законів розподілу біометрії компонентів обчесаного вороху зернових був використаний критерій Пірсона. Для цього було отримане

розрахункове значення критерію Пірсона, яке порівнювалось з табличним значенням.

Таблиця 1 – Статистичні характеристики біометрії обчесаного вороху озимої пшениці

№	Статистичні характеристики	Од. вим.	Найменування компонентів обчесаного вороху						
			зернина			солома		обірвані колоски	
			довжина	товщина	ширина	діаметр	довжина	діаметр	довжина
1	Середнє арифметичне значення	мм	6,7	2,33	2,78	2,8	254	7,72	88,9
2	Середнєквадратичне відхилення	мм	0,57	0,28	0,286	0,44	85	1,53	28,5
3	Коефіцієнт варіації	%	8,45	12,02	10,29	16,07	33,46	19,82	32,11
4	Абсолютна помилка	мм	0,08	0,04	0,04	0,06	12	0,216	4
5	Відносна помилка	%	1,19	1,71	1,46	2,14	4,72	2,8	4,5

Щільності розподілу параметрів біометричних характеристик обчесаного вороху зернових наведені на рис. 2...8, причому, на всіх наведених рисунках, цифрою «1» – позначено експериментальну криву, а цифрою «2» – теоретичну. Результати розрахунків статистичних моделей розмірних параметрів складових обчесаного вороху зернових та їх перевірка на адекватність наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Статистичні моделі розмірних параметрів складових обчесаного вороху зернових

№	Найменування геометричного параметру	Од. вим.	Статистична модель	Значення критерію Пірсона	
				розрах.	табличне
1	Товщина зернини	мм	$f(h_3) = 1,43 \cdot e^{-\frac{(2,33-h_3)^2}{0,16}}$	0,915	1,145
2	Ширина зернини	мм	$f(a_3) = 1,4 \cdot e^{-\frac{(2,78-a_3)^2}{0,163}}$	1,144	1,145
3	Довжина зернини	мм	$f(l_3) = 0,7 \cdot e^{-\frac{(6,7-l_3)^2}{0,65}}$	0,21	1,145
4	Довжина соломини	см	$f(l_c) = 0,04 \cdot e^{-\frac{(25,4-l_c)^2}{1,44}}$	0,022	1,145
5	Діаметр соломини	мм	$f(d_c) = 0,91 \cdot e^{-\frac{(2,8-d_c)^2}{0,39}}$	0,439	1,145
6	Довжина обірваного колоску	см	$f(l_k) = 0,14 \cdot e^{-\frac{(8,89-l_k)^2}{16,25}}$	0,07	1,145
7	Діаметр обірваного колоску	мм	$f(d_k) = 0,26 \cdot e^{-\frac{(7,72-d_k)^2}{0,21}}$	0,21	1,145

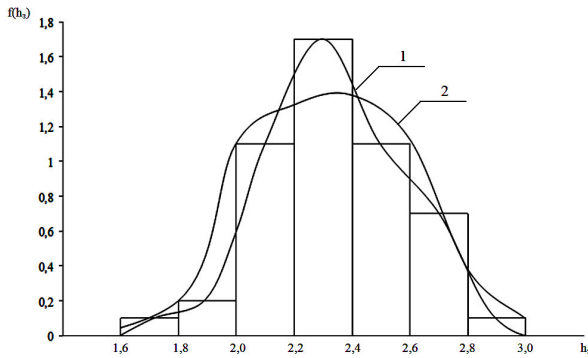


Рис. 2. Щільність розподілу товщини зернини.

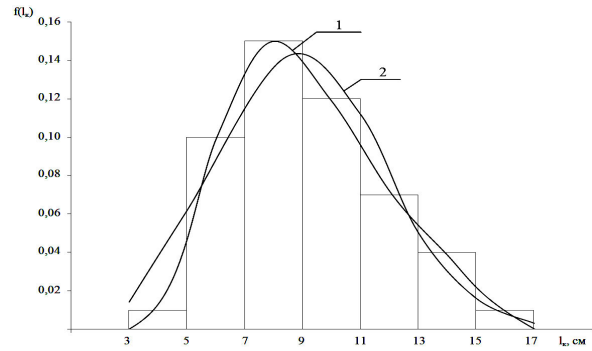


Рис. 3. Щільність розподілу ширини зернини.

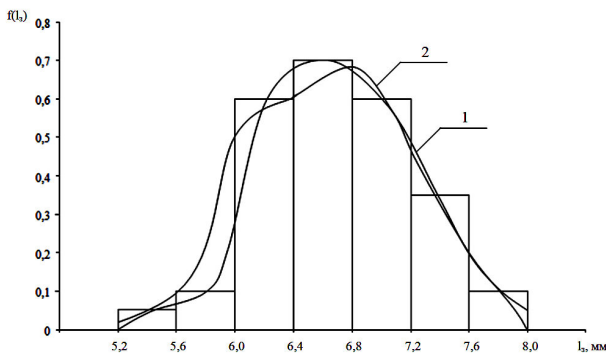


Рис. 4. Щільність розподілу довжини зернини.

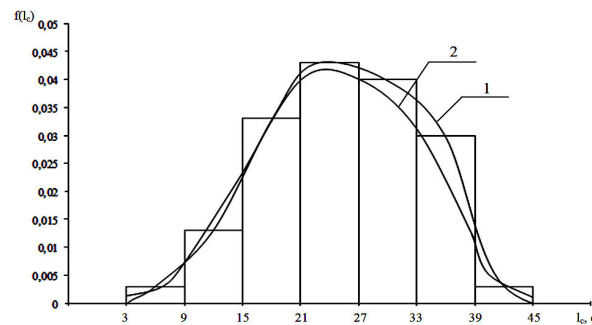


Рис. 5. Щільність розподілу довжини соломини.

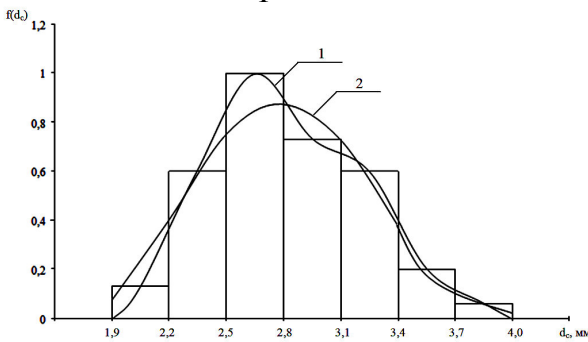


Рис. 6. Щільність розподілу діаметру соломини.

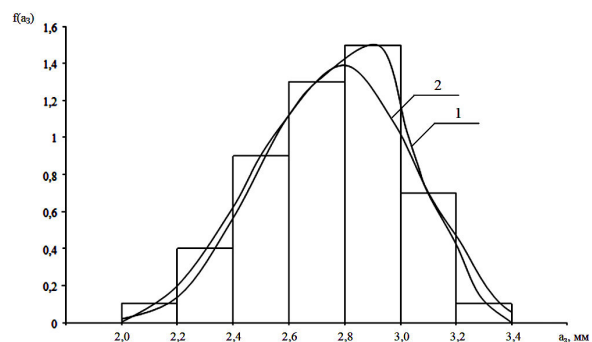


Рис. 7. Щільність розподілу довжини обірваного колоску.

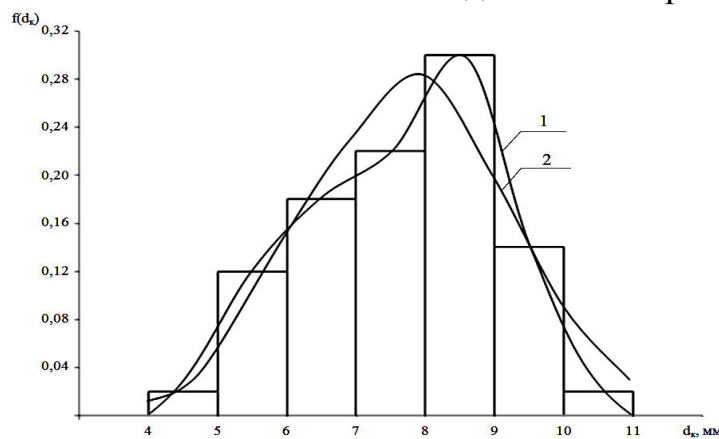


Рис. 8. Щільність розподілу діаметру обірваного колоску. Як видно з даних таблиці 2 у всіх випадках табличне значення

критерію Пірсона χ^2_T більше розрахункового χ^2_{α} , це свідчить про те, що всі отримані моделі адекватності, тобто чисельні ряди отримані у результаті виміру лінійних розмірів компонентів обчесаного вороху зернових розподіляються за нормальним законом розподілу вірогідних значень.

Висновки.

1. Встановлено, що середнє значення довжини зернини складає 6,7 мм, товщини 2,33 мм та ширини 2,78 мм, в той же час довжина соломи та довжина обірваного колоска дорівнює 254 мм і 88,9 мм, тобто розміри домішок значно перебільшують розміри зернини.

2. Перевірка адекватності статистичних моделей геометричних параметрів компонентів обчесаного вороху свідчить про те, що всі отримані моделі адекватні.

3. Значення лінійних розмірів складових обчесаного вороху зернових розподіляються за нормальним законом розподілу вірогідних значень.

Література

1. *Шабанов П. А.* Механико-технологические основы обмолота зерновых культур на корню: дис... д-ра техн. наук / *П. А. Шабанов*, МИМСХ. – Мелитополь, 1988. – 336 с.

2. *Голубев И. К.* Обоснование основных параметров и режимов работы двухбарабанного устройства для очеса риса на корню: дис... канд. техн. наук / *И. К. Голубев*; ВСХИЗО. – М., 1989. – 201 с.

3. *Гончаров Б. И.* Исследование рабочего процесса очесывающего устройства для обмолота риса на корню с целью уменьшения потерь зерна: дис... канд. техн. наук / *Б. И. Гончаров*. – М., 1982. – 217 с.

4. *Данченко Н. Н.* Обоснование щеточного устройства для очесывания метелок риса на корню: автореф. дис... канд. техн. наук / *Н. Н. Данченко*. – Челябинск, 1983. – 15 с.

5. *Повиляй В. М.* Исследование процесса уборки селекционных посевов риса методом очесывания метелок на корню и обоснование параметров очесывающего устройства: дис... канд. техн. наук / *В. М. Повиляй*. – Краснодар, 1980. – 165 с.

6. *Аблогин Н. Н.* Обоснование технологической схемы и параметров устройства для сепарации очесанного вороха риса: дис... канд. техн. наук / *Н. Н. Аблогин*. – Мелитополь, 1997. – 215 с.

7. *Леженкин И. А.* Статистический анализ содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы / *И. А. Леженкин* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2013. – Вип. 13. – Т. 2. – С. 183-187.

8. *Леженкин И. А.* Анализ содержания оборванных колосков в очесанном ворохе озимой пшеницы / *И. А. Леженкин* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. – Вип. 12. – Т. 5. – С. 149-154.

9. *Леженкин И. А.* Математическая модель содержания соломы в очесанном ворохе озимой пшеницы / *И. А. Леженкин* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2013. – Вип. 13. – Т. 3. – С. 57-62.

10. *Леженкин И. А.* Статистическая модель содержания половы в очесанном ворохе озимой пшеницы / *И. А. Леженкин* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків, 2013. – Вип. №132. Технічні системи і технології тваринництва. – С. 355-360.

11. *Леженкин А.* Машина с очесывающим устройством / *А. Леженкин* // Сельский механизатор. – 2004. – №12. – С. 2.

12. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей / *Е. С. Вентцель*. – М.: Изд. Физико-математической литературы, 1962. – 564 с.

13. *Боровков А. А.* Математическая статистика. Оценка параметров и проверка гипотез / *А. А. Боровков*. – М.: Наука, 1984. – 472 с.

14. *Гатаулин А. М.* Система прикладных статистико-математических методов обработки экспериментальных данных в сельском хозяйстве. / *А. М. Гатаулин*. – М.: Изд. МСХА, 1992. – Ч. 1. – 160 с.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОНЕНТОВ ОБЧЕСАННОГО ВОРОХА ЗЕРНОВЫХ

С.В. Кюрчев, И. А. Леженкин

Аннотация – в статье рассматривается анализ размерных характеристик компонентов обчесанного вороха зерновых, а также приводятся графики плотности распределения линейных параметров составляющих вороха.

STATISTICAL ANALYSIS OF BIOMETRICS CHARACTERIS- TICS OF THE COMPONENTS HEWN HEAP OF GRAIN

S. Kyurchev, I. Lezhenkin

Summary

The article considers the analysis of the dimensional characteristics of the components hewn heap of grain, and provides graphics parameters density components heap.

УДК 539.43

ВТОМА НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПОКОВОК

Буніна Л. М., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-13-54, e-mail florex.melitopol@gmail.com

Анотація – марганцевисті сталі знаходять широке використання у машинобудуванні. В роботі досліджували вплив хімічного складу і форми неметалевих включень на конструкційну міцність марганцевих сталей. Наведено залежності між природою неметалевих включень і властивостями сталей.

Ключові слова – марганцевиста сталь, неметалеві включення, втомне руйнування, розкислення, модифікування.

Постановка проблеми. На практиці марганцевисті сталі широко застосовуються у машинобудуванні для деталей сільськогосподарських машин (колінчасті вали, шатуни, вилки переведення передач та ін.), так як марганець підвищує твердість та міцність сталі, а також збільшує її прогартовуваність. Ці деталі в процесі роботи піддаються навантаженням, які змінюються за величиною і напрямком. При таких повторно-змінних напругах метал поступово із в'язкого стану переходить у крихкий (стомлюється). Крихкий стан пояснюється появою мікротріщин, які поступово розширюються й ослаблюють метал. Вплив морфології неметалевих включень та структури металевої основи на втомне руйнування сталей вивчено недостатньо.

Аналіз останніх досліджень. Втома – це процес поступового накопичення ушкоджень у металі під дією змінних напружень, які призводять до утворення і розвитку втомних тріщин. Внаслідок різного орієнтування зерен і блоків, макро- і мікрodefектів напруження в металі розподіляються нерівномірно. При розрахунковому навантаженні нижче тимчасового опору в окремих перенапружених локальних об'ємах відбувається пластичне деформування і, як наслідок, його граничного розвитку, виникають мікротріщини. Мікротріщини поступово зливаються, утворюючи макротріщину, яка часом поширюється на весь переріз [1].

Втомні злами мають характерні ознаки, що відрізняють їх від ламів іншого роду. У зламі виділяють кілька характерних зон. Фокус

зламу – локальна зона, у якій виникає зародкова макроскопічна тріщина втоми і звідки починається її розвиток. Зона руйнування – невелика зона, яка прилягає до фокуса зламу, і в якій сформувалася початкова макроскопічна тріщина втоми. Вона характеризується невеликим блиском і найбільш гладкою поверхнею. Зона властиво втомного розвитку тріщини характеризується тим, що в ній від зони руйнування, як із центра, розходяться лінії втоми - сліди фронту просування тріщини. Зона долому утворюється на останній стадії втомного руйнування і має яскраво виявлені ознаки макрокрихкого руйнування [2].

Відомо, що неметалеві включення мають низьку міцність. Також навколо включень існує напружений стан, тому первинні тріщини виникають навколо найбільш великих неметалевих включень, які мають несприятливу форму, таких як MnS , Al_2O_3 та інш.

З методів підвищення показників конструктивної міцності найбільш економічним є метод керування природою неметалевих включень – модифікування. Розкислення алюмінієм неспроможне забезпечити сприятливу морфологію неметалевих включень, тому все більше застосовують спільне розкислення алюмінієм та рідкоземельними металами. З останніх найбільше застосування отримав фероцерій. Зі зростанням його вмісту відбувається поступова глобуляризація включень і зниження кількості включень глинозему та шпінелей [3, 4, 5].

Формулювання цілей статті. Метою статті є дослідження впливу розкислення алюмінієм та одночасно алюмінієм та фероцерієм на структуру сталей з низьким (0,09 %) та середнім (0,5 %) вмістом вуглецю з урахуванням їхньої технологічної текстури.

Основна частина. Досліджували сталі 09Г, 50Г та 60Г після розкислення алюмінієм та спільно алюмінієм та фероцерієм, коли вміст алюмінію становив 0,03...0,05 %, а церію – 0,055...0,06 %. Зразки матеріалів сталей 09Г та 50Г вирізали вздовж (ДП) і поперек (ПД) текстури сталей, одержаної після кування. Досліджувані сталі проходили наступні режими термічної обробки: нормалізація (сталь 09Г), гартування у маслі з високим ($500^{\circ}C$) відпуском (сталь 50Г). На плавці сталі 60Г вивчали вплив сірки (присадка у піч) на механічні властивості сталі.

Незалежно від кінцевого розкислення та гарячої пластичної деформації структура низьковуглецевої сталі після термічної обробки уявляла собою ферит з незначною кількістю карбідної фази, середньовуглецевих сталей – сорбіт з голчастими включеннями фериту (рис.1). Неметалеві включення в литій сталі при розкисненні алюмінієм були подані глиноземом та залізо-марганцевими сульфідами III типу. Останні при куванні деформувались, отримували

втягнуту форму, при цьому параметр їхньої форми (відношення довжини до ширини) становив 7...10; включення з РЗМ практично не змінювали своєї форми (рис. 2).

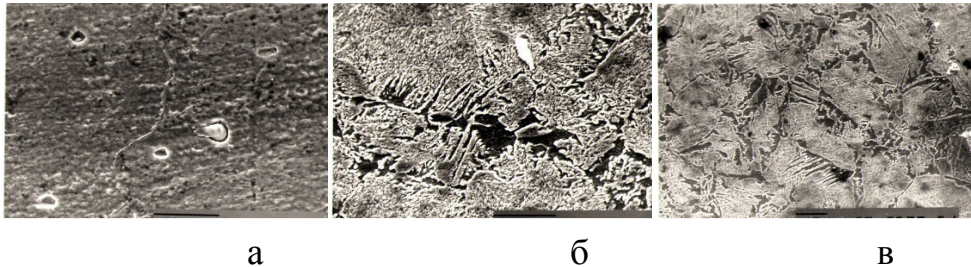


Рис.1. Мікроструктури сталей 09Г (а), 40Г (б) и 50Г (в) після термообробки.

Для сталі 09Г мікрофрактографічні особливості зламів ДП-зразків подані переважно типовими втомними борозенками, протяжність яких скорочується на зламах поперек кування (ПД-зразки). Спостерігається також мікророзтріскування матриці сталі і прояв у цих зонах зламу неметалевих включень. У ПД-зразках спостерігаються вторинні тріщини перпендикулярно до напрямку поширення доміантної тріщини. Але в усіх випадках неметалеві включення в зламах залишаються незруйнованими, тобто ріст тріщини відбувається шляхом розшарування на межі металева основа-

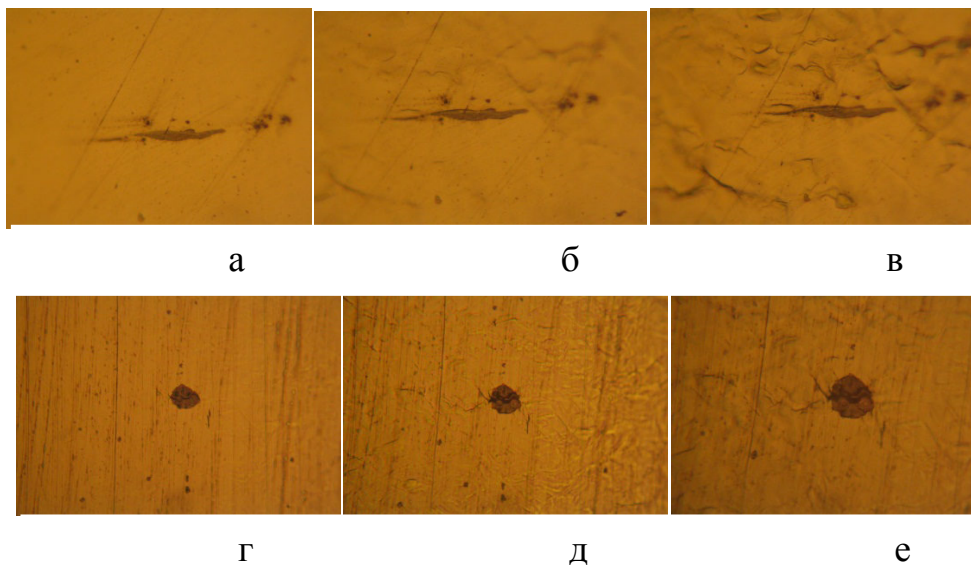


Рис. 2. Зародження мікротріщини біля залізо-марганцевих сульфідів (а,б,в) та оксисульфідів (г,д,е).

включення.

У зламах сталі 50Г домінують фасетки розшарування площинами ковзання (циклічний квазіскол), хоча проявляються і втомні борозенки незалежно від орієнтації вирізання зразка. У зламі ПД-

зразків спостерігаються ділянки з фрагментованими втомними борозенками і витягнуті ділянки відкольного характеру, які орієнтовані за текстурою сталі, чого не виявлено на ДП-зразках, що очевидно, обумовлює негативний прояв текстури на циклічну в'язкість руйнування сталі 50Г після розкислення алюмінієм.

Проведений мікроаналіз зламу біля включень показує, що її розтріскування можна пов'язати з локальним підвищенням вмісту сірки. Існуючими стандартами вміст сірки в рядових конструкційних сталях дозволяється до 0,03...0,05 %. Тому в спокійних розкислених алюмінієм сталях, які містять 0,003...0,005% кисню, співвідношення між оксидами та сульфідами дорівнює приблизно 1:10, тобто основним типом включень є залізо-марганцеві сульфіди. Як відомо, ці включення деформуються при пластичній деформації та викликають зниження і анізотропію властивостей сталі. Тому перспективним методом підвищення властивостей сталі слід розглядати комбінацію десульфурзації та комплексного розкислення з ціллю глобуляризації оксисульфідних включень та підвищення механічних та службових властивостей сталевих виробів.

Вивчали вплив зростаючого вмісту сірки та розкислення алюмінієм та фероцерієм на механічні властивості сталі 60Г (0,62% С, 0,94% Mn, 0,37% Si, 0,027% P). Сталь виплавляли в 250-кг індукційній печі на чистій по сірці шихті (армко-залізо та сталь 08кп). Сірку присаджували в піч, розкислювачі – у розливочний ківш. Присадка алюмінію становила 0,1% від маси рідкого металу, присадка фероцерію розраховувалась, виходячи з очікуваного (по розрахунку шихти) вміст сірки у сталі по формулі: $\%FeSe=4\% S$ [4]. Зразки для механічних досліджень виготовляли з литого та кованого металу (зливки масою 25кг, ступінь укову 8,5...9,5). Гартування у масло з 810°C проводили після нагріву заготовок у печах опору, відпуск – при 500°C з охолодженням на повітрі.

Наведені на рис.3 результати механічних досліджень підтверджують ефективність комплексного підходу – десульфурзації та розкислення алюмінієм спільно з фероцерієм на механічні властивості литої та деформованої сталі [6 – 9]. З наведених на рисунку результатів випливає, що вміст сірки та технологія кінцевого розкислення не надали помітного впливу на межу плину, тимчасовий опір та твердість сталі. В той же час досліджувані технологічні фактори змінювали показники пластичності та ударної в'язкості в широких межах, при цьому зниження вмісту сірки, в цілому, виявлялось більш ефективним, чим додаткове розкислення сталі фероцерієм.

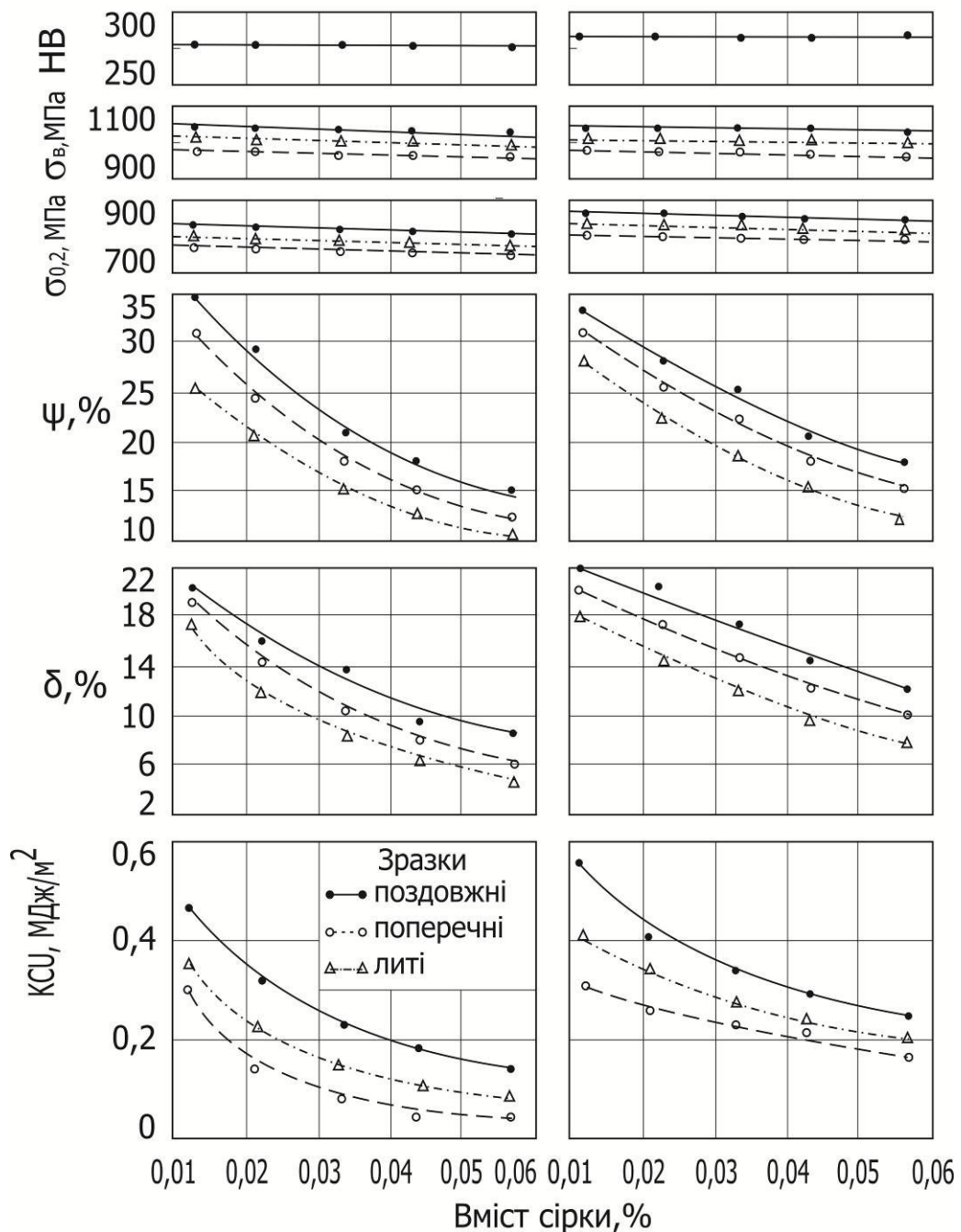


Рис. 3. Вплив вмісту сірки на механічні властивості сталі 60Г.

Висновки. За наявності неметалевих глобулярних включень сталі з перлітною структурою металевої основи мають перевагу перед феритними для елементів конструкцій з високим рівнем міцності і опором втомному руйнуванню.

Література

1. В.І. Большаков Матеріалознавство / В.І.Большаков, О.Ю.Берега, О.Ю.Міронова, В.І.Харченко.—Базіліан Прес.: Канада, 1998.— 216 с.

2. Солнцев Ю.П. Спеціальні конструкційні матеріали / Ю.П. Солнцев, С.Б. Беліков, І.П. Волчок, С.П. Шейко. – Запоріжжя: Валпіс-Поліграф, 2010. – 536 с.
3. Шульте Ю. А. Неметаллические включения в электростали / Ю. А. Шульте. – М.: Металлургия, 1964. – 207 с.
4. Поволоцкий Д. Я. Раскисление стали / Д. Я. Поволоцкий. – М.: Металлургия, 1972. – 208 с.
5. Малиночка Я.Н. Сульфиды в сталях и чугунах / Я. Н. Малиночка, Г. З. Ковальчук. – М.: Металлургия, 1988. – 244 с.
6. Вплив неметалевих включень на опір втомного руйнуванню марганцевистих сталей / І. Андрійко, О. Остап, І. Волчок [та ін.] //Машинознавство. – 2007. – №4. – С. 13 – 16.
7. Шульте Ю.А. Хладостойкие стали / Ю. А. Шульте – М.: Металлургия, 1970. – 224 с.
8. Лунев В.В. Сера и фосфор в стали / В.В. Лунев, А.В. Аверин – М.: Металлургия, 1988. – 256 с.
9. Голубцов В. А. Модифицирование стали для отливок и слитков / В. А. Голубцов, В. В. Лунев. – Челябинск – Запорожье: ЗНТУ, 2009.–356 с.

УСТАЛОСТЬ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПОКОВОК

Л.Н. Бунина

Аннотация - марганцевые стали широко применяются в машиностроении. В работе исследовали влияние химического состава и формы неметаллических включений на конструкционную прочность марганцевых сталей. Приводятся зависимости между природой неметаллических включений и свойствами стали.

THE FATIGUE OF LOW-CARBON STEELS FOR FORGINGS

L. Bunina

Summary

The manganese-containing steels are widely used in machinery construction. The influence chemical composition and shape of non-metallic inclusions on constructive strength of manganese-containing steels was studied. The dependences between the nature of non-metallic inclusions and properties of steels are given.

УДК 620.178.16.004

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ УЩІЛЬНЮЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПАЛИВНИХ НАСОСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ ДИЗЕЛІВ В СЕРЕДОВИЩІ БІОПАЛИВА

Журавель Д. П., к.т.н.,

Коломoeць В. А., інж.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. 42-25-85, e-mail: dmitry041169@mail.ru

Анотація - робота присвячена встановленню впливу біопалива на надійність ущільнюючих елементів паливних насосів високого тиску.

Ключові слова – біопаливо, надійність, ущільнюючі елементи, паливний насос, фторкаучук, фторопласти.

Постановка проблеми. Герметичність і надійність роботи паливних насосів високого тиску (ПНВТ) визначаються надійністю ущільнюючих елементів - прокладками, кільцями та манжетами, а також станом рухомих елементів, зокрема сполученням плунжер-гільза.

Ущільнюючі елементи забезпечують герметичність ПНВТ, що позначається на ресурсі і надійності роботи насоса в цілому[1].

Згідно технічних умов на комплектацію паливних насосів, встановлені між деталями прокладки повинні бути цілими, без зморшок і тріщин. Відповідні отвори в прокладках і деталях повинні співпадати.

При з'єднанні деталей прокладки стискаються до 50% своєї товщини. Однак, залишається зазор, що забезпечує щільність матеріалів прокладок, в який потрапляє як змащувальний матеріал так і паливо.

Аналіз останніх досліджень. В існуючій технічній літературі недостатньо уваги приділено питанню надійності роботи матеріалів трибоспряжень в середовищі паливо-мастильних матеріалів біологічного походження, а також відсутні практичні рекомендації із застосування матеріалів заміників, які інертні до даних середовищ[2,3]. Особливо це стосується ущільнюючих елементів вузлів і агрегатів мобільної техніки [4].

Формулювання цілей статті. Метою досліджень є встановлення впливу біологічного палива на надійність ущільнюючих елементів ПНВТ дизелів.

Основна частина. Основними матеріалами в якості прокладок використовуються технічна гума, що отримується шляхом вулканізації каучуків, і термопластичні полімери [4]. Крім того, для ущільнюючих елементів можуть бути використані фторкаучук і фторопласти.

На сьогоднішній день, для виготовлення резино - технічних виробів використовуються не натуральні каучуки - ПК, а синтетичні каучуки - СК, що мають полімерну основу наповнювачем якої є сажа або графіт, то при використанні біологічного палива необхідно враховувати їх взаємодію з паливом, які мають однакову молекулярну основу та піддаються руйнуванню.

Дослідженню піддавалися резино - технічні вироби, виготовлені на основі синтетичних каучуків, ремонтного комплексу двигуна Д-40, Д-65, виготовлених згідно ГОСТ 9833-73, ГОСТ 6969-54, ГОСТ 6678-72, ГОСТ 18829-73, ГОСТ 14896-84, ГОСТ 2274-77.

Досліджувані об'єкти поміщалися в середовище біопалива на основі соняшникової олії, властивості якої регламентуються ДСТУ 6081:2009 «Ефіри метилових жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів», як альтернативне паливо. Метод випробувань відповідав ГОСТ 9.030-74.

В результаті досліджень встановлено, що ущільнюючі вироби, які виготовлені на основі технічної гуми шляхом вулканізації синтетичних каучуків, через 96 годин перебування в біопаливі, збільшили об'єм, вагу і еластичність, з частковим розкладанням і зміною кольору біопалива з жовтого до темно - коричневого, що доводить здатність матеріалу розкладатися в біологічному паливі (рис. 1).

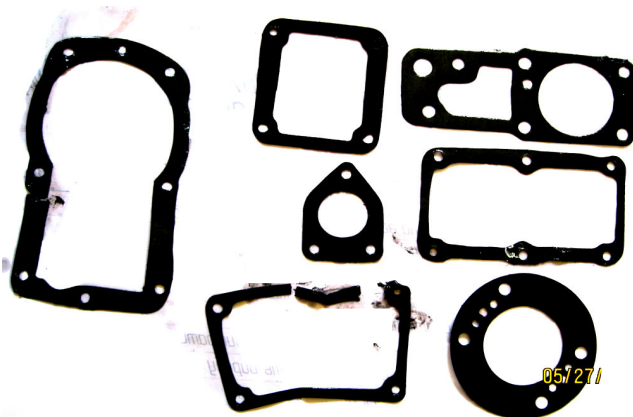


Рис. 1. Прокладки паливних насосів з технічної гуми після перебування в біологічному паливі.

У деяких прокладках відбулося повне розм'якшення і частковий розрив основи. Тільки прокладки з азбестовим наповнювачем не втратили своєї форми, хоча дали помутніння палива. Сальники, манжети, кільця ущільнювальних елементів паливних систем ДВЗ теж відреагували на біопаливо. Паливо стало темним і каламутним, що підтверджує часткове їх розкладання в ньому.

Також дослідженню піддавалися резино - технічні вироби ремонтного комплекту двигуна Д-21, СМД 31/60, СМД 14-24, А-41, виготовлених за ТУ 38105646-78 і ТУ 425.1-2485511050-003-2006, та виготовлених з фторкаучуку ІРП 1314 за ТУ У 600152135.071-99 з твердістю по Шору «А» - 76-86.

Твердість визначалася за допомогою дюрометра Шора (рис.2).

Фторкаучук (фторорганічний каучук, фтореластомір) - це синтетичний каучук, який одержують в результаті сополімеризації фторскладових мономерів.

Фторкаучук володіє винятковою стійкістю до високої температури, відмінною стійкістю до масел, бензинів, гідравлічних рідин і вуглеводневих розчинників; має дуже хорошу газо- і паро-непроникність; дуже хорошу стійкість до атмосферних впливів, кисню, озону і сонячного світла, хорошу вогнестійкість. Ущільнюючі елементи, виготовлені на основі фторкаучуку, через 96 годин перебування в біопаливі не змінили своєї форми, товщини, маси та щільності.



Рис. 2. Дюрометр Шора.

Набухання виробів відсутнє. Досліджувані прокладки і кільця представлені на рис. 3.

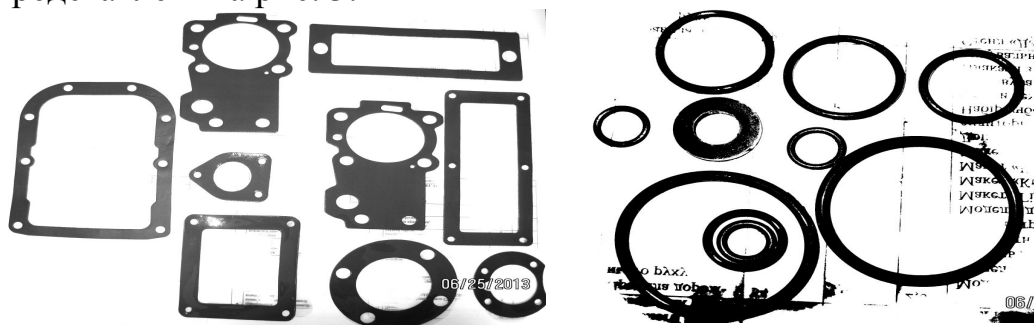


Рис. 3. Прокладки і кільця, виготовлені з фторкаучука, після перебування в ефірах біопалива.

Також досліджувалися прокладки з поліаміду (капрону) за ТУ У 25.2-2485511053-002:2005р. По виробках з поліамідів (капрону)

реального розкладу не встановлено, проте біопаливо стало непрозорим - легке помутніння з вираженням білим відтінком (рис.4).

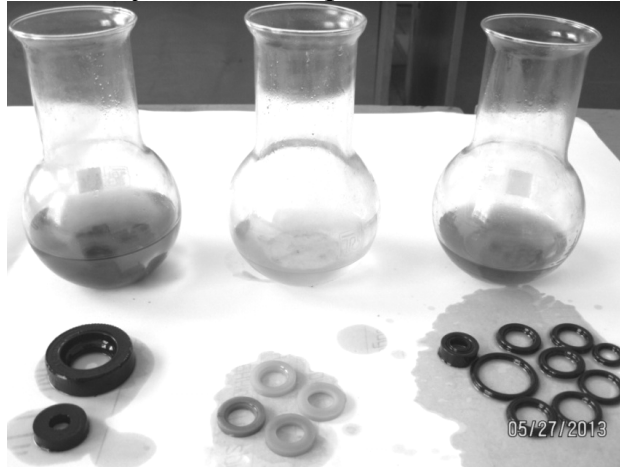


Рис. 4. Результати дії біологічного палива на резино - технічні та полімерні вироби.

Також досліджувалися кільця з фторопласта згідно ГОСТ 13744-87, ГОСТ 10007-80. Ущільнювальні кільця паливних систем ДВЗ, виготовлених з фторопласту теж не зреагували на біопаливо (рис.5).

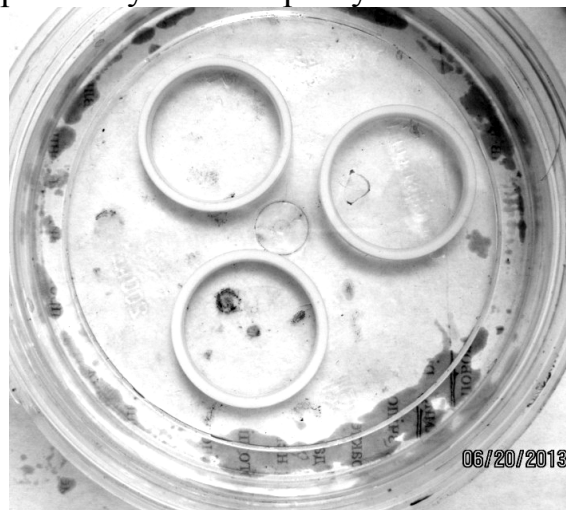


Рис. 5 . Кільця з фторопласту в середовищі біопалива.

Висновки.

1. Усі матеріали, що мають у своєму складі високомолекулярні органічні сполуки, такі як полімерні матеріали та синтетичні каучуки, взаємодіючи з метанолом біологічного палива, піддаються розчиненню з подальшим руйнуванням.

2. Матеріали ущільнень, основу яких складає фтор або його з'єднання, не реагують на ефіри біологічних палив, і рекомендуються для герметизації елементів паливних систем, що працюють в їх середовищі.

3. Гумовотехнічні вироби, які виготовлені на основі синтетичних канчуків, полімерів та поліамідів, можуть бути використані для

герметизації елементів паливної апаратури тільки без прямого контакту з біопаливом.

4. Ущільнюючі елементи, виготовлені з фторопластів, стійкі до ефірів біологічних палив і можуть бути використані в паливній апаратурі, що працює на біопаливі.

Література

1. *Фанлейб Б.Н.* Топливная аппаратура автотракторных дизелей / *Б.Н. Фанлейб.* - Машиностроение, 1974. - 263 с.
2. *Кюрчев В.М.* Альтернативне паливо для енергетики АПК/*В.М. Кюрчев, В.А. Дідур, Л.І. Грачова.*; за ред.. *В.А.Дідура.* – К.: Аграрна освіта, 2012. – 416 с.
3. *Девянин С.Н.* Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / *С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семёнов.*- Х.: Новое слово, 2007. - 452 с.
4. *Кошелев Ф.Ф.* Общая технология резины/ *Ф.Ф. Кошелев, А.Е. Корнев, А.М. Буканов.* - 4 изд., М., 1978. -287 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЕЙ В СРЕДЕ БИОТОПЛИВА

Д. П. Журавель, В. А. Коломоец

Аннотация - работа посвящена установлению влияния биотоплива на надежность уплотнительных элементов топливных насосов высокого давления.

RELIABILITY STUDIES OF THE SEALING ELEMENT TO THE FUEL INJECTION PUMP DIESEL ENGINES IN A MEDIUM OF BIOFUELS

D. Zhuravel, V. Kolomoets

Summary

Is devoted to establishing the effects of biofuels on the reliability of the sealing elements high pressure fuel pumps.

УДК 514.18

ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ТУРБОКОМПРЕССОРА

Гавриленко Е. А., к.т.н.,

Холодняк Ю. В., асп*.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел.: (0619) 42-68-62.

Аннотация – предлагается методика формирования геометрической модели поверхностей, ограничивающих межлопаточный канал рабочего колеса турбокомпрессора. Характеристики сформированных поверхностей обеспечивают ламинарный характер обтекания внутри межлопаточного канала.

Ключевые слова – каркас поверхности, горизонтальное сечение, образующая, дискретно представленная кривая (ДПК), закономерное изменение кривизны и кручения.

Постановка проблемы. Формирование геометрической модели изделия по реальному физическому образцу требует разработки методов моделирования поверхностей по заданным условиям. Такие методы целесообразно использовать при моделировании сложных динамических поверхностей, к которым относятся поверхности, функциональным назначением которых является взаимодействие со средой (рабочие органы сельскохозяйственных машин, каналы двигателя внутреннего сгорания, лопатки турбин и др.).

При проектировании динамических поверхностей необходимо обеспечить ламинарный характер обтекания их потоком. При моделировании поверхностей на основе каркаса свойства поверхностей обеспечиваются свойствами его элементов – плоских и пространственных кривых линий. С геометрической точки зрения ламинарное обтекание можно обеспечить за счет закономерного изменения кривизны и кручения вдоль линий, принадлежащих поверхности.

Анализ последних исследований. Методы формирования плоских и пространственных ДПК на основе произвольного точечного ряда, по заданным условиям, предложены в работах [2, 3]. Методы позволяют обеспечить закономерное изменение кривизны и кручения вдоль кривых. На основе предложенных методов разработано программное

© Гавриленко Е. А., Холодняк Ю. В.

*Научный руководитель – к.т.н., доцент Гавриленко Е. А.

обеспечение, которое позволяет формировать ДПК, состоящую из сколь угодно большого числа точек. Полученный точечный ряд в автоматическом режиме интерполируется В-сплайном в пакете трехмерного моделирования SolidWorks.

Формулировка целей статьи (постановка задачи). Задачей исследования является разработка методики формирования геометрических моделей поверхностей, ограничивающих межлопаточный канал рабочего колеса турбокомпрессора.

Основная часть. Рабочее колесо изготавливается литьем и представляет собой ступицу с лопатками. Поверхности лопаток, ступицы и крышки ограничивают межлопаточный канал, в котором происходят основные энергетические преобразования.

При проектировании поверхностей, ограничивающих межлопаточный канал, необходимо обеспечить выполнение следующих требований [1]:

- площадь сечений вдоль канала монотонно изменяется;
- при движении потока давление газа в межлопаточном канале плавно возрастает;
- направление потока меняется с осевого (на входе) на радиальное (на выходе из канала).

Для того, чтобы минимизировать энергетические потери внутри межлопаточного канала, необходимо обеспечить ламинарный характер обтекания его поверхностей.

Для этого необходимо обеспечить выполнение следующих требований:

- второй порядок гладкости кривых, которые принадлежат поверхностям, ограничивающим межлопаточный канал;
- закономерное изменение радиусов кривизны вдоль линий тока, расположенных на поверхностях.

Исходными данными для проектирования геометрической модели рабочего колеса являются чертеж ступицы и крышки, координаты точечного массива, задающего поверхность лопатки колеса. С геометрической точки зрения наиболее сложным элементом рабочего колеса является лопатка.

Поверхность лопатки формируется на основе каркаса, состоящего из семейства плоских горизонтальных сечений и двух пространственных направляющих кривых линий.

На рис. 1 представлено одно из горизонтальных сечений поверхности лопатки. Исходная ДПК состоит из 7 узлов. Точность, с которой точечный ряд представляет кривую с закономерным изменением кривизны, не превышает 10^{-3} . В результате сгущения точечного ряда получено 58 узлов, задающих горизонтальное сечение лопатки. По-

лученный точечный ряд представляет кривую с закономерным изменением кривизны с точностью 10^{-5} .

На рис. 1, б показан график изменения кривизны вдоль горизонтального сечения, сформированного В-сплайном, интерполирующим полученный точечный ряд; на рис. 1, а представлен график изменения кривизны вдоль сечения, сформированного инструментами SolidWorks.

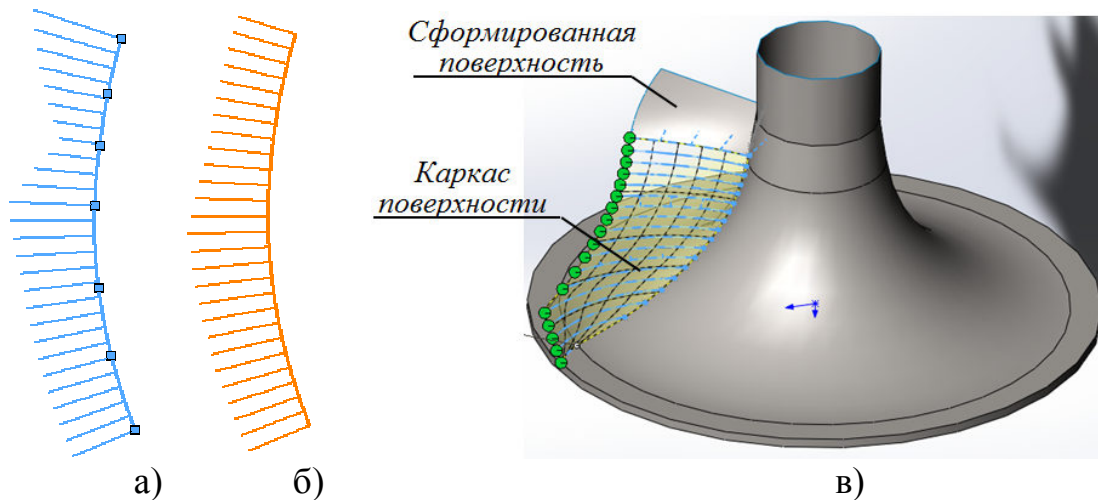


Рис. 1. Формирование каркаса лопатки рабочего колеса.

В качестве исходных данных для формирования направляющих линий каркаса приняты точки пересечения горизонтальных сечений лопатки с поверхностями ступицы и крышки. На основе исходного точечного ряда сформированы две пространственные кривые линии с закономерным изменением кривизны и кручения. Эти кривые являются направляющими формируемой поверхности.

На основе каркаса, состоящего из 22 горизонтальных сечений и двух пространственных направляющих кривых, в пакете SolidWorks сформирована поверхность лопатки (рис. 1, в).

После создания геометрической модели выполнен газодинамический анализ межлопаточного канала. Анализ проводился с помощью модуля SolidWorks Flow Simulation. Исходными параметрами потока являются: давление на входе (0,8 атм) и выходе (1,64 атм), скорость потока на входе (90 м/с) и выходе (205 м/с).

Анализ исходной модели рабочего колеса показал, что при движении потока давление в средней части межлопаточного канала незначительно уменьшается.

Обеспечить монотонное изменение давления внутри канала можно за счет оптимизации графика изменения площадей нормальных сечений.

Формирование семейства нормальных сечений межлопаточного канала выполнено по следующим этапам:

- моделирование пространственной осевой линии канала;
- создание семейства нормальных секущих плоскостей;
- формирование сечений поверхностей, ограничивающих канал, нормальными плоскостями.

Исходными данными для формирования осевой линии канала являются линии тока, проходящие через центры тяжести входного и выходного сечений. Линии тока получены в автоматическом режиме с помощью функций FlowWorks. Точечный ряд, задающий осевую линию, состоит из 9 узлов, равноудаленных от исходных линий тока.

В результате сгущения исходной ДПК получен точечный ряд, состоящий из 72 узлов, на основе которого сформирована пространственная осевая линия с закономерным изменением кривизны и кручения.

Сформировано 7 нормальных сечений канала, равномерно распределенных вдоль осевой линии.

График изменения площадей нормальных сечений показал (рис. 2), что в центральной части канала площади сечений увеличиваются. Для обеспечения монотонного изменения площадей была проведена корректировка формы сечений 3, 4 и 5. Площадь сечений откорректирована за счет изменения формы образующих крышки турбокомпрессора и ступицы рабочего колеса.

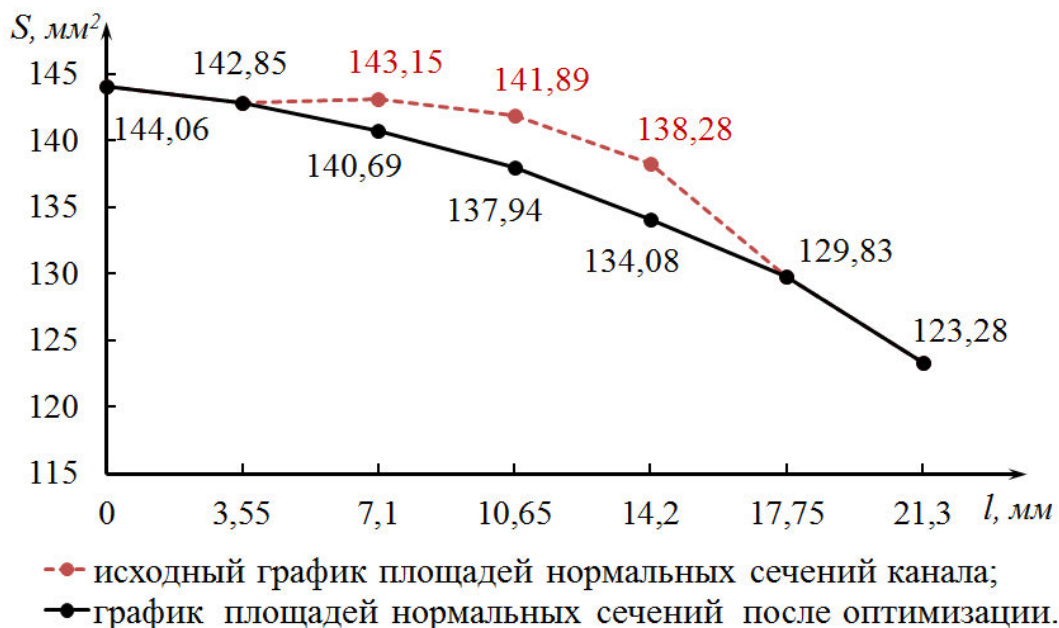


Рис. 2. Оптимизация графика изменения площадей нормальных сечений канала.

В результате корректировки максимальное отклонение точек полученных образующих линий от исходных не превышает 0,15 мм. При этом площади нормальных сечений были уменьшены на 2.5, 4 и 4.2 мм².

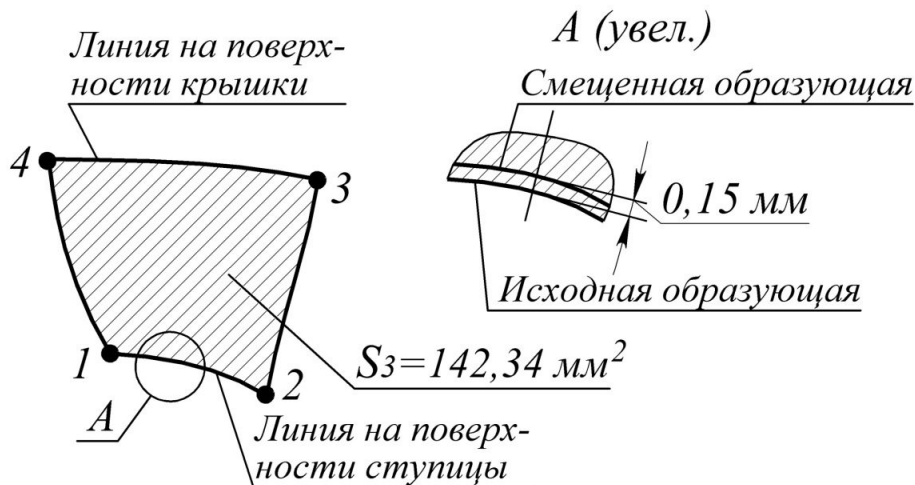


Рис. 3. Оптимизация графика изменения площадей нормальных сечений канала.

Образующие линии ступицы и крышки формируются на основе ДПК, узлы которых принадлежат нормальным сечениям межлопаточного канала. В результате сгущения получены точечные ряды, состоящие из 56 узлов, которые представляют кривые с закономерным изменением кривизны.

Закономерное изменение кривизны вдоль образующих линий ступицы и крышки предотвращает возникновение вторичных потоков внутри межлопаточного канала.

На основе полученных поверхностей была создана оптимизированная модель рабочего колеса. Повторный анализ потока в межлопаточном канале показал монотонное возрастание давления внутри канала.

Выводы. В работе предложена методика формирования геометрической модели рабочего колеса турбокомпрессора. Для минимизации энергетических потерь внутри межлопаточного канала, обеспечивается ламинарный характер обтекания ограничивающих поверхностей. В процессе моделирования оптимизирован график изменения площадей нормальных сечений, что обеспечивает монотонное изменение давления внутри межлопаточного канала. Возникновение вторичных потоков предотвращается за счет обеспечения закономерного изменения кривизны вдоль линий, принадлежащих ограничивающим плоскостям.

Разработанная методика может применяться при решении задач

обратного инжиниринга – восстановления геометрии изделия по реальному физическому образцу.

Литература

1. *Байков Б.П.* Турбокомпрессоры для наддува двигателей / *Б.П. Байков, В.Г. Бордуков, П.В. Иванов, Р.С. Дейч* – Л.: Машиностроение, 1975. – 200 с.

2. *Гавриленко Е.А.* Вариативное дискретное геометрическое моделирование на основе пространственных угловых параметров дискретно представленной кривой второго порядка гладкости / *А.В. Найдьш, Е.А. Гавриленко* // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Прикладна геометрія та інженерна графіка». Випуск 91. – К.: КНУБА, 2013. – С. 69-75.

3. *Холодняк Ю.В.* Формування ділянки дискретно представленної кривої із монотонною зміною кривини / *Ю.В. Холодняк* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т. 57. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – С.211-216.

ФОРМУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ РОБОЧОГО КОЛЕСА ТУРБОКОМПРЕСОРА

Є.А. Гавриленко, Ю.В. Холодняк

Анотація – запропонована методика формування геометричної моделі поверхонь, що обмежують міжлопатковий канал робочого колеса турбокомпресора. Характеристик сформованих поверхонь забезпечують ламінарний характер обтікання всередині міжлопаткового каналу.

FORMATION OF GEOMETRIC MODEL OF TURBOCHARGER'S IMPELLER

E. Gavrilenko, Yu. Kholodnyak

Summary

The method of formation of geometrical model of surfaces that restrict interscapular channel of the turbocharger's impeller is proposed in the article. The characteristics of formed surfaces provide laminar flow inside the interscapular channel.

УДК 641.437.075.8

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАРБУЗІВ, КАБАЧКІВ, КУКУРУДЗИ МОЛОЧНОЇ СПЛОСТІ І СОЛОДКОГО ПЕРЦЮ ТА ЇХ ПРОГНОЗУВАННЯ

Ялпачик В. Ф., д.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619)42-13-06

Анотація – робота присвячена розробці алгоритму розрахунку теплофізичних характеристик сільськогосподарської продукції. Дане співставлення розрахункових та знайдених в літературі експериментальних даних з питомої ефективної теплоємності, похибка не перевищує 8-10% у всьому інтервалі температур.

Ключові слова – кристалізація води, фізична густина, втрата маси, ефективна теплопровідність, енерго- та ресурсозбереження, теплофізичні характеристики.

Постановка проблеми. Для вирішення задач енерго- та ресурсозбереження при проектуванні технічних систем для тривалого збереження рослинної сировини, необхідно знати теплофізичні характеристики цих продуктів.

Аналіз останніх досліджень. В результаті аналізу літературних джерел [1,4], в якості базових об'єктів для охолодження та заморожування вибрані: гарбузи, кабачки, кукурудза молочної сплості і солодкий перець. При цьому були виділені два види кабачків – літні та зимові сорти.

Основна частина. Розрахунок теплофізичних характеристик виконано за алгоритмом розробленим на мові Turbo Pascal.

При заданих вхідних даних щодо вологовмісту W_{in} , температури початку кристалізації води $T_{кр}$, масової концентрації атмосферних газів, протеїну, жиру, вуглеводнів, клітковини та золи розраховуємо значення густини, питомої ефективної теплоємності, питомої ентальпії, ефективної теплопровідності (перколяції теплоти), масової частки вимороженої води при кожній заданій температурі плодоовочевого об'єкту в діапазоні від мінус 40 °С до плюс 40 °С. Ці процедури дозволяють проводити розрахунки для всіх досліджуваних плодів та овочів на єдиній інформаційній основі щодо властивостей

компонентів. Початковою для розрахунків виступає процедура

**PROCEDURE TPHYS(J:integer;TK:extended;
Var Cp,RSu,LD:extended),**

в якій j – вхідне значення номеру речовини, теплофізичні властивості якої мають бути розраховані, TK – вхідне значення температури в градусах Кельвіна, Cp (Дж/кгК), RSu (кг/м³), LD (Вт/мК) – відповідно розраховані значення питомої ефективною теплоємності, фізичної густини та коефіцієнту теплопровідності. Відповідно, процедура

**PROCEDURE ENTHALPY(TK,TCR:extended;
Var I0CR,ICrM,I0T,ITM,I0M,W0M,WTM,WCrM,WCrT:extended);**

для заданих значень температури TK і температури початку кристалізації води $T_{кр}$ розраховує значення внесків (інтеграли) в ентальпію плодоовочевого об'єкту від льоду та води. При цьому $I0CR$, $ICrM$, $I0T$, ITM , $I0M$ відповідно інтеграли від температурної залежності питомої теплоємності льоду по температурі в границях від температури „нуля“ підрахунку $T_0 = 233,15$ К до $T_{кр}$, від $T_{кр}$ до температури плавлення льоду $T_M = 0$ °С, від T_0 до змінної температури плодоовочевого об'єкту TK , від змінної температури TK до T_M , від T_0 до T_M .

Розраховані значення $W0M$, WTM , $WCrM$, $WCrT$ мають аналогічний сенс як інтеграли від температурної залежності для питомої теплоємності рідинної води, в тому числі і в переохолодженому стані.

Нарешті, процедура

PROCEDURE ENTALbio(J:integer;Tk:extended;VAR IT:extended);
розраховує внесок (при змінній температурі T_k) в ентальпію плодоовочевого об'єкту від j – того компоненту „сухої“ частини - протеїну, жиру, вуглеводню, клітковини, золи. Цей внесок, на відміну від попередніх, один, оскільки ці компоненти не терплять фазового перетворення в досліджуваному діапазоні температур.

Вхідний масив K_{in} індивідуальних характеристик (хімічний склад, $T_{кр}$) несе в розрахункову процедуру.

**PROCEDURE WATEROUT(Kin:ED; T:extended; VAR
WT,DWT:extended);**

значення температури початку кристалізації води $T_{кр}$ та поточне значення температури T сировини. Розраховуються відповідні температурі T значення рівноважної частки вимороженої води WT та її похідної по температурі DWT .

Кінцевою процедурою розрахунку всього комплексу теплофізичних характеристик плодоовочевого об'єкту в цілому є процедура

**PROCEDURE XYZPROP(T:extended;Koeff,Coef:ed; var RPH, CE,
IPT, L, W, DW: extended);**

Тут вхідними виступають поточне значення температури T сировини та масиви **Koef, Coef** індивідуальних її характеристик (хімічний склад, $T_{кр}$, пористість). В подальшому, при апробації даної методики розрахунків, виникне необхідність аналізу теплофізичних характеристик сировини з різним вологовмістом W_{in} і, відповідно, різним складом (за масовими концентраціями в сумі $(1 - W_{in})$) „сухої“ її частини. Тому при змінних значеннях W_{in} відповідні значення масових концентрацій компонент „сухої“ частини перераховуються в масивах **Koef, Coef** пропорційно $(1 - W_{in})$.

Вихідними величинами процедури **XYZPROP** є значення **RPH** фізичної густини (кг/м^3), питомої ефективної теплоємності **CE** (Дж/кгК), питомої ентальпії **IPH** (Дж/кг), ефективної теплопровідності (перколяції теплоти, Вт/мК), масової частки вимороженої води **W** та її похідної **DW** (K^{-1}) по температурі. Результати апробації розробленої методики розрахунку температурних залежностей теплофізичних характеристик вибраних плодів та овочів представлені в таблиці 1. Аналогічно, в таблиці 2 наведено співставлення розрахованих та знайдених в літературі експериментальних даних з питомою ефективною теплоємністю.

Таблиця 1 - Прийняті значення масових концентрацій основних компонент овочів та температури початку кристалізації води в них

Назва овочів	Вологовміст	$T_{кр},$ $^{\circ}\text{C}$	Масова частка					
			білку	жиру	вуглеводнів	клітковини	золи	атм. газів
Гарбуз	0,9160	- 0,80	0,0094	0,0009	0,0613	0,0047	0,0076	$16,0 \cdot 10^{-5}$
Кабачки літні	0,9420	- 0,50	0,0071	0,0018	0,0304	0,0143	0,0044	$8,6 \cdot 10^{-5}$
Кабачки зимові	0,8778	- 0,80	0,0071	0,0009	0,0928	0,0134	0,0080	$8,7 \cdot 10^{-5}$
Баклажани	0,9100	- 0,90	0,0120	0,0010	0,0590	0,0130	0,0050	$39,0 \cdot 10^{-5}$
Солодкий перець	0,9219	- 0,70	0,0072	0,0015	0,0523	0,0146	0,0024	$19,0 \cdot 10^{-5}$
Кукурудза мол. стигл.	0,7596	- 0,60	0,0289	0,0106	0,1710	0,0243	0,0056	$34,0 \cdot 10^{-6}$

Як видно з результатів, наведених у табл. 2 розходження розрахованих та експериментальних даних знаходиться для усіх досліджених овочів в межах похибки експериментальних даних, хоч конкретний хімічний склад, крім вологовмісту, для використаних експериментальних даних невідомий. Це надає можливість зробити висновок про те, що розроблена методика дозволяє розраховувати ефективну питому теплоємність всього дослідженого переліку овочів

з похибкою, яка не перевищує 8 – 10 % у всьому інтервалі температур від мінус 40 °С до плюс 40 °С.

Таблиця 2 - Порівняння розрахункових та експериментальних даних різних авторів з ефективною теплоємності овочів.

Назва овочів	T, °С	W _{in}	T _{кр} , °С	C _p , Дж/кг·К		Відхилення, %	Джерело експер. даних
				експер. дані	розрахунок		
Гарбуз	- 40,0	0,916	- 0.80	1810,0	1925.5	- 6,38	[4]
	25,0	0,916	- 0.80	3970,0	3968,0	0,05	[4]
	25,0	0,905	- 0.80	3920,0	3940,0	- 0,51	1
Кабачки літніх сортів	- 40,0	0,942	- 0.50	1740,0	1896,8	- 9,01	[4]
	25,0	0,942	- 0.50	4070,0	4034,8	0,87	[4]
	40,0	0,949	- 0.50	4020,0	4050,2	- 0,75	[1]
	40,0	0,949	- 0.50	4040,0	4050,2	- 0,25	[1]
	23,0	0,944	- 0.50	3951,0	4040,3	- 2,26	[1]
	23,0	0,936	- 0.50	3458,0	4019,8	- 16,25	[1]
Кабачки зимових сортів	26,0	0,877	- 0.80	3580,0	3868,3	- 8,05	[1]
	- 40,0	0,878	- 0.80	1870,0	1907,5	- 2,01	[4]
	25,0	0,878	- 0.80	3890,0	3870,5	0,50	[4]
	- 40,0	0,8056	- 0.80	2160,0	2338,5	- 8,27	[4]
	25,0	0,8056	- 0.80	3700,0	3686,2	0,37	[4]
	35,0	0,820	- 0.80	3768,0	3721,3	1,24	[4]
	- 35,0	0,784	- 0.80	1842,0	2505,6	- 36,03	[1]
	30,0	0,818	- 0.80	3601,0	3717,3	- 3,23	[1]
	20,15	0,795	- 0.80	3620,0	3658,7	- 1,07	[1]
20,15	0,836	- 0.80	3840,0	3763,9	1,98	[1]	
Баклажани	- 40,0	0,9203	- 0,80	1830,0	1931,7	- 5,56	[4]
	25,0	0,9203	- 0,80	4020,0	3983,2	0,91	[4]
	- 40,0	0,9200	- 0,80	2010,0	1931,6	3,90	[4]
	25,0	0,9200	- 0,80	3940,0	3982,5	- 1,08	[4]
	25,0	0,908	- 0,90	4047,0	3939,8	2,66	[1]
	25,0	0,944	- 0,90	4221,4	4042,7	4,23	[1]
	25,0	0,927	- 0,90	3935,0	4000,0	- 1,65	[3]
	- 40,0	0,927	- 0,90	2010,0	1947,8	3,09	[3]
Перець солодкий	- 40,0	0,9219	- 0,70	1800,0	1919,7	- 6,65	[4]
	25,0	0,9219	- 0,70	4010,0	3988,0	0,55	[4]
	- 40,0	0,930	- 0,70	1840,0	1922,9	- 4,50	[4]
	25,0	0,930	- 0,70	3810,0	4008,2	- 5,20	[4]
	25,0	0,924	- 0,80	3940,0	3993,2	- 1,35	[2]
Кукурудза молочної стиглості	- 40,0	0,760	- 0,60	1980,0	1845,8	- 6,78	[4]
	25,0	0,760	- 0,60	3620,0	3582,7	1,03	[4]
	- 40,0	0,740	- 0,60	1760,0	1838,4	- 4,46	[4]
	20,0	0,740	- 0,60	3310,0	3532,9	- 6,73	[4]

При уточненні (в умовах реального промислового виробництва) хімічного складу та температури початку кристалізації води для виділеної партії сировини наведена похибка розрахункових даних може бути суттєво знижена. Відповідно, за розрахунковими даними можуть бути скоректовані енерговитрати виробництва заморожених овочів, технологічні параметри процесу заморожування.

Наявний об'єм експериментальних даних з фізичної густини досліджених овочів надто малий для проведення насиченої статистичної оцінки похибки моделювання, експериментальні дані тут не відображають фізичну густину у від'ємній області температур (табл. 3). Тому похибку моделювання за адитивною по питомих об'ємах компонент фізичною густиною овочів можливо оцінити величиною до 10 %.

Таблиця 3 - Порівняння розрахункових та експериментальних даних різних авторів з фізичної густини овочів.

Назва овочів	T, °C	W _{in}	T _{кр} , °C	R _o , кг/м ³		Відхилення, %	Джерело експер. даних
				експер. дані	розрахунок		
Гарбуз	25,0	0,905	-0,80	954,0	1002,7	-5,10	[1]
Кабачки літніх сортів	23,0	0,936	-0,50	970,0	991,8	-2,25	[1]
	40,0	0,949	-0,50	995,0	980,7	1,44	[1]
	40,0	0,949	-0,50	9040,0	980,7	-8,48	[1]
Кабачки зимових сортів	26,0	0,877	-0,80	950,0	1012,3	-6,56	[1]
	20,15	0,795	-0,80	1068,0	1067,0	0,10	[1]
	20,15	0,836	-0,80	1040,0	1050,7	-1,03	[1]
Баклажани	25,0	0,9080	-0,90	903,0	903,5	-0,05	[1]
	25,0	0,944	-0,90	716,0	893,5	-24,78	[1]
Перець сол.	25,0	0,924	-0,70	967,0	1014,6	-4,92	[4]
Кукурудза мол. стигл.	20,15	0,795	0,60	1068,0	1061,3	0,63	[4]

З іншого боку, необхідність контролю втрат маси овочів при їх переробці та холодильній обробці, а також при холодильному зберіганні, необхідність розробки комп'ютеризованих методів такого контролю посилює актуальність підвищення ефективності математичного моделювання процесів холодильної обробки, зокрема, опису і контролю фізичної густини овочів конкретного урожаю.

Для значень ефективної теплопровідності (перколяції теплоти) при від'ємних температурах ми не маємо для досліджених овочів ніяких, хоч в малій мірі достовірних експериментальних даних. У додатній області

температур такі дані мають суттєво малий об'єм і представлені у порівнянні з розрахунковими в табл. 4.

Таблиця 4 - Порівняння розрахункових та експериментальних даних різних авторів з ефективної теплопровідності (перколяції теплоти) овочів.

Назва овочів	T, °C	W _{in}	T _{кр} , °C	λ, Вт/м·К		Відхилення, %	Джерело експер. даних
				експер. дані	розрахунок		
Гарбуз	25,0	0,905	-0,80	0,470	0,471	-0,12	1
Кабачки літніх сортів	23,0	0,936	-0,50	0,53	0,518	2,23	1
	23,0	0,944	-0,50	0,60	0,519	13,44	1
	40,0	0,949	-0,50	0,68	0,538	20,82	1
	40,0	0,949	-0,50	0,33	0,538	-63,15	1
Кабачки зимових сортів	26,0	0,877	-0,80	0,50	0,510	-1,96	1
	20,15	0,795	-0,80	0,51	0,53	-3,40	1
	20,15	0,836	-0,80	0,52	0,540	-3,98	1
Баклажани	25,0	0,908	-0,90	0,38	0,374	1,56	1
	25,0	0,944	-0,90	0,35	0,378	-8,01	1
	25,0	0,917	-0,90	0,37	0,375	-1,40	1
Перець сол.	25,0	0,924	-0,80	0,50	0,46	8,75	1
Кукурудза мол. стигл.	20,15	0,795	-0,60	0,51	0,508	0,44	4

Враховуючи невизначеність пористості та структурних неоднорідностей зразків, які використовувались авторами при одержанні експериментальних даних, наведені відхилення слід вважати задовільними, а граничну похибку знову оцінити значенням 10 %. З іншого боку, експериментальні дані з ефективної теплопровідності солодкого перцю та кукурудзи молочної спілості по суті відсутні. Тому одержані дані з фізичної густини та ефективної теплопровідності солодкого перцю та кукурудзи молочної спілості слід розглядати як прогноз в рамках розробленої загальної методики, що апробована на експериментальних даних для інших овочів.

Висновки: Одержані температурні залежності для теплофізичних характеристик овочів може бути рекомендована для розрахункового аналізу відповідного обладнання, корегування даних з теплофізичних характеристик та режимних параметрів технології переробки за результатами контрольних вимірювань параметрів сировини, що поступає на підприємство з виробництва замороженої продукції.

Література:

1. *Zisiewska Z.* Effect of storage period and temperature on the chemical composition and organoleptic quality of frozen tomato cubes / *Z. Zisiewska, W. Kmiesik* // *Food Chem.* – 2000. – Vol. 70, № 2. – P. 167–173.

2. *Гинзбург А. С.* Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов / *А.С. Гинзбург, М.А. Громов*. – М. : Агропромиздат, 1987. – 272 с.

3. *Чубик И. А.* Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов / *И. А. Чубик, А. М. Маслов*. – М.: Пищевая промышленность, 1970. – 184 с.

4. *Гинзбург А. С.* Влага в зерне / *А. С. Гинзбург, В. П. Дубровский, Е. Д. Казаков*. – М. : Колос, 1969. – 224 с.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЫКВЫ, КАБАЧКОВ, КУКУРУЗЫ МОЛОЧНОЙ СПЕЛОСТИ И СЛАДКОГО ПЕРЦА И ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

В.Ф. Ялпачик

Аннотация - работа посвящена разработке алгоритма решения расчета теплофизических характеристик сельскохозяйственной продукции. Данное сопоставление расчетных и найденных в литературе экспериментальных данных с удельной эффективной теплоемкости, погрешность не превышает 8-10% во всем интервале температур.

THERMAL CHARACTERISTICS PUMPKIN, ZUCCHINI, CORN MAMMARY RIPENESS AND SWEET PEPPER AND FORECASTING

V. Yalpachyk

Summary

Is devoted to the development of algorithm for solving the calculation of thermal characteristics of agricultural products. This comparison of the calculated and found in the literature experimental data on effective specific heat capacity, the error does not exceed 8.10% in the whole temperature range.

УДК 631.3.002.5

ПРОЕКТУВАННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ ФРЕЗИ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Дідур В. А., д.т.н.,

Мінько С. А., асп*.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. 0619-44-02-74

Анотація - запропоновано графо-аналітичний спосіб побудови напрямної лінії відрізного ножа фрезерної машини для обробітку ґрунту в пристовбурних смугах саду. Спосіб передбачає визначення параметрів напрямної лінії поверхні робочого органу з урахуванням траєкторії його руху, а також заднього кута різання.

Ключові слова: траєкторія руху, робочий орган фрези, пристовбурні смуги саду, задній кут різання, параметри напрямної лінії.

Постановка проблеми. За результатами узагальнених досліджень [1], щодо обробітку ґрунту в пристовбурних смугах багаторічних насаджень, дійшли висновку про доцільність обробітку ґрунту в пристовбурних смугах фрезою з робочими органами, що повертаються навколо вертикальної осі. Така конструктивна схема була реалізована в дослідному зразку фрезерної машини МФ-1 з робочими органами у вигляді циліндричних розпушувальних стержнів, розташованих під кутом до вертикалі. Але основним недоліком роботи таких робочих органів є те, що ґрунт після обробітку містить біля 37% агрегатів від 0,25 мм до 10,0 мм, а це, за шкалою оцінки структурно-агрегатного стану ґрунту [2], вважається незадовільним. Тому, обґрунтування параметрів робочих органів фрези, які б забезпечили агрегатно-структурний стан ґрунту, що відповідав би агровимогам є актуальною задачею.

Мета дослідження. Отримати параметри напрямної лінії криволінійної поверхні ножа фрези для обробки ґрунту шляхом визначення її координат графо - аналітичним способом.

Основна частина. Під час роботи фрези її робочі органи з вертикальною віссю обертання рухаються за криволінійною траєкторією, лінія якої є трохойдою. Згідно з [3] при криволінійному

© Дідур В.А., Мінько С. А.

*Науковий керівник – д.т.н., професор Дідур В. А.

Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

русі ріжучого робочого органу його поверхня має бути криволінійною. Для побудови прямої такої поверхні рух ріжучої крайки ножа по траєкторії, яка є трохойдою, можна представити рівнянням:

$$\begin{cases} x = V_M \cdot t + R \cdot \sin(\omega t) \\ y = R \cdot \cos(\omega t) \end{cases} \quad (1)$$

де V_M - швидкість руху агрегату, м/с;

R - радіус обертання ріжучої крайки ножа, м;

ω - кутова швидкість, рад/с.

Траєкторія руху ріжучої крайки ножа при значеннях $V_M = 0,88$ м/с, $\omega = 15,3$ рад/с, $t = 0,01$ с має вигляд, який наведено на рис. 1.

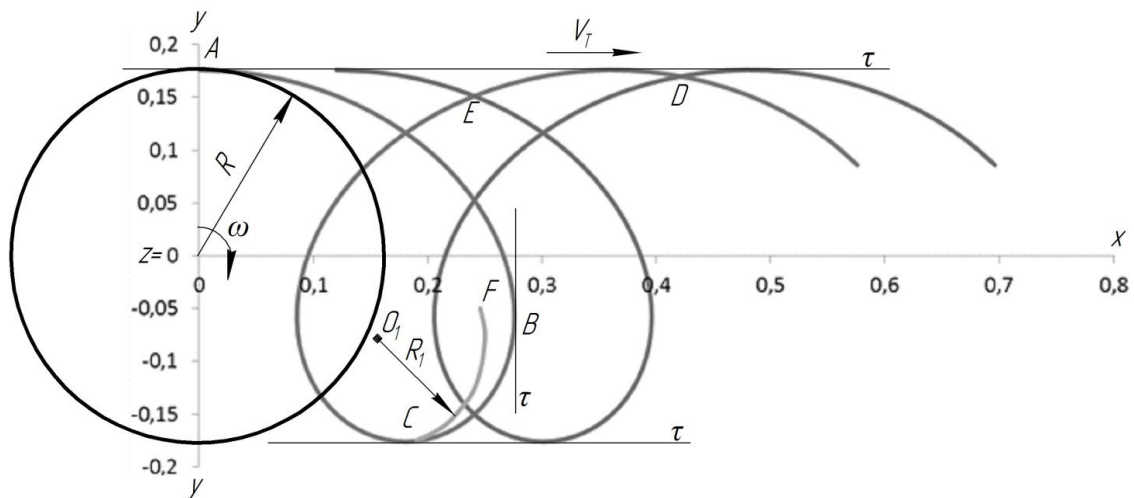


Рис. 1. Траєкторія руху робочих органів фрези.

Загально відомо, що величина заднього кута різання ножів роторних ґрунтообробних машин дорівнює 10° , що не виключає тертя їх задніх поверхонь по утворюваній ножами криволінійній поверхні ґрунту. Тобто, відстань між поверхнею ножа і ґрунтом має збільшуватися за лінійним законом по мірі віддалення від ріжучої крайки [3]. Це вказує на те, що при криволінійній траєкторії руху ножа направляюча його поверхні буде криволінійною, а її ординати збільшуються за лінійним законом і встановлюються величиною заднього кута різання ($\gamma=10^\circ$), починаючи з точки на ріжучій крайці ножа. Початок перетворення частини траєкторії руху ріжучої крайки ножа в криволінійну напрямку CF ножа слід починати з точки на траєкторії, де її кривина досягає максимуму. З рис. 1 видно, що найбільшу кривину траєкторія буде мати у точки С, яку обираємо за центр перетворення. Перетворення кривої лінії СВ здійснимо наступним чином. Обчислимо довжину частини криволінійної траєкторії СВ, яка задана рівнянням (1). Для обчислення довжини лінії СВ скористаємось формулою [4]:

$$L = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{(x'_t)^2 + (y'_t)^2} dt . \quad (2)$$

Обчислимо похідні x' , y' :

$$\begin{aligned} x' &= (V_M \cdot t + R \cdot \sin(\omega t))' = V + R \cos(\omega t) \omega \\ y' &= (R \cdot \cos(\omega t))' = -R \sin(\omega t) \omega \end{aligned} \quad (3)$$

Підставимо отримані похідні (3) у вираз (2), та інтегруємо вираз (2) на інтервалі $0.124 \leq t \leq 0.205$. Тоді

$$L = \int_{0.124}^{0.205} \sqrt{(V + R \cos(\omega t) \omega)^2 + (-R \sin(\omega t) \omega)^2} dt . \quad (4)$$

Процес перетворення криволінійної частини траєкторії СВ у криволінійну напрямну ножа CF наведено на рис. 2.

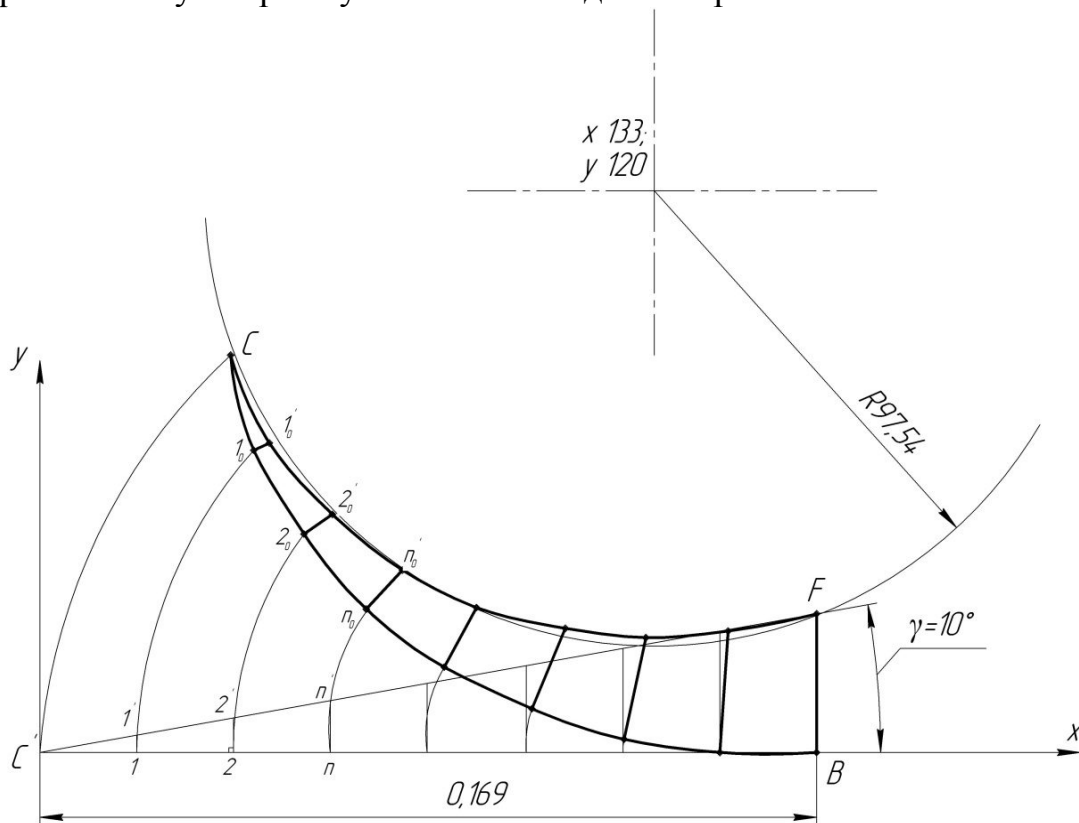


Рис. 2. Перетворення криволінійної частини траєкторії СВ в криволінійну напрямну ножа CF.

P' співпадає з початком координат. Згідно з формулою (4) довжина L частини траєкторії $P'B$ буде дорівнювати $0,169$ м, яку розіб'ємо на рівні відрізки з інтервалом $\Delta t = 0.01$ с, і отримаємо точки $1, 2, \dots, n$, у яких встановимо перпендикуляри. З точки P' проведемо пряму під кутом $\gamma = 10^\circ$, який є заднім кутом різання, і на перетині з перпендикулярами отримаємо точки $1', 2', n'$. Відстані $11', 22', nn'$ відкладаємо у однойменних точках на частині траєкторії СВ.

Координати вершин перпендикулярів $1_0, 2_0, n_0$ визначають криволінійну напрямну СФ поверхні ножа фрези.

Визначення канонічного рівняння напрямної СФ є не тривіальною задачею і для практичного застосування не є доцільним, у зв'язку з тим, що поверхня ножа буде представлена у вигляді циліндричної поверхні, що розгортається, і апроксимованою площинами, які проходять через напрямну СФ. Визначення даних координат проводимо шляхом рішення системи рівнянь:

$$\begin{cases} (x_{2_0} - x_{1_0}) \cdot (x_{1_0} - x_{1_0}) + (y_{2_0} - y_{1_0}) \cdot (y_{1_0} - y_{1_0}) = 0 \\ (x_{1_0} - x_{1_0})^2 + (y_{1_0} - y_{1_0})^2 = 1_0 l_0' \end{cases} \quad (5)$$

Результати обчислення координат точок криволінійної напрямної СФ наведено у таб. 1

Таблиця 1 - Координати точок криволінійної напрямної СФ

точки	1' ₀	2' ₀	3' ₀	4' ₀	5' ₀	6' ₀	7' ₀	8' ₀	9' ₀
x	0,19	0,206	0,219	0,231	0,24	0,246	0,249	0,25	0,246
y	-0,175	-0,167	-0,157	-0,142	-0,128	-0,109	-0,091	-0,071	-0,05

Для практичного застосування отриману криву лінію СФ з координатами, які наведені у таб.1, доцільно представити дугою кола з найменшою похибкою. У нашому випадку приймаємо радіус кола 0,097 м, який дає похибку $\pm 1,9$ мм.

Висновки.

1 Встановлено, що для траєкторії руху робочих органів фрезерної машини при $V_M = 0,88$ м/с, $\omega = 15,3$ рад/с і $R = 0,176$ м, а також задньому куті різання $\gamma = 10^\circ$ напрямна лінія поверхні ножа буде мати координати лінії, яка може бути представлена дугою кола з радіусом 0,097 м.

2 Похибка представлення отриманих координат криволінійної лінії дугою кола з радіусом 0,097 м складатиме $\pm 1,9$ мм, що не буде мати суттєвого впливу на рух ґрунту по поверхні ножа з такою напрямною лінією.

3 Отриманні параметри напрямної лінії ножа дають можливість перейти до обґрунтування його поверхні, що забезпечує рихлення ґрунту в пристовбурних смугах саду із структурно-агрегатним складом, який за шкалою ДСТУ 4362 є «добрий».

Література

1. Мінько С.А. Результати випробування фрезерної машини для обробітку ґрунту в пристовбурних смугах плодових насаджень / Науковий вісник Луганського національного аграрного університету.

Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНА, 2012 № 41. - 402 с. – С.169-174.

2. Показники родючості ґрунтів: ДСТУ 4362:2004. – [Чинний від 2006-01-01].- К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 19с. – (Національний стандарт України)

3. Юрченко И.К. Профилирование очерка днища ковша роторного траншейного экскаватора. / И.К. Юрченко // Прикладная геометрия и инженерная графика. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 23. Киев, «Будівельник», 1977, С.67-69

4. http://mathprof1.ru/dlina_dugi_krivoi.html

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ОРГАНА ФРЕЗИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГРУНТА

В.Т. Дидур, С.А. Минько

Аннотация – предложено графо - аналитический способ строения направляющей линии отрезного ножа фрезерной машины для обработки грунта в пристволовых полосах сада. Способ предусматривает определение параметров направляющей линии поверхности рабочего органа с учетом траектории его движения, а также заднего угла резания.

CUTTER OPERATING ELEMENT DESIGNING FOR TILLING

V. Didur, S. Meenko

Summary

Graphic and analytical method for designing the milling machine detachable blade guiding line to till orchard tree trunk belts has been proposed. The method presupposes defining the guiding line parameters for the operating element surface taking into account its mechanical trajectories as well as relief angle.

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ

УДК 621.315:004.032.26

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ
РАСПОЗНАВАНИЯ ВЕЙВЛЕТ-ОБРАЗА
ИСКАЖЕННОГО НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО СИГНАЛА**

Лежнюк П. Д., д.т.н.,

Винницкий национальный технический университет

Мирошник А. А., к.т.н.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко

Тел.: 057-712-35-37

Аннотация - для распознавания вейвлет-образов несинусоидальных сигналов предложено использовать нейронную сеть на базе адаптивной резонансной теории. Разработана принципиальная схема вейвлетного нейронного классификатора и алгоритм нейросетевой классификации искажений по их вейвлет-образу.

Ключевые слова: нейронная сеть, вейвлет-образ, несинусоидальное искажение

Постановка проблемы. Распознавание искажений несинусоидальных режимов работы сетей 0,38/0,22 кВ очень сложный вопрос [1], так как включает широкий спектр искажений, границы которых могут накладываться друг на друга. Как и во многих работах по идентификации и классификации основной целью является корректное определение неизвестного объекта.

Анализ последних исследований и публикаций. На сегодняшний день имеется два подхода для достижения этой цели: параметрический и непараметрический. В задачах распознавания образов первый подход, известный еще как статистический, требует предварительных знаний о статистическом распределении данных модели. С другой стороны, непараметрический подход, известный как искусственные нейронные сети, не требует какой-либо статистической информации.

Основные материалы исследования. Нейронные сети (непараметрический подход) распознают образы благодаря «опыту», полученному в результате обучения на определенной выборке данных. Причем в данной выборке не обязательно представлять абсолютно все

возможные состояния исследуемой предметной области. Сеть настраивает свои внутренние параметры в соответствии с определенными правилами.

Поэтому с учетом современных достижений цифровой обработки сигналов появляется возможность разработать новый метод для идентификации и распознавания искажений несинусоидальных режимов работы сетей 0,38/0,22 кВ, который заключается в объединении теории вейвлетов и теории нейронных сетей.

На сегодняшний день существует множество способов организации нейронных сетей, которые могут содержать различное количество слоев нейронов [2]. Нейроны могут быть связаны между собой как внутри отдельных слоев, так и между слоями. В зависимости от направления связи могут быть прямыми или обратными.

Необходимо иметь ввиду, что увеличение количества нейронов не всегда приводит к улучшению результата распознавания образов, а лишь замедляет процесс обучения нейронной сети. Поэтому одной из основных задач при выборе нейронной сети становится нахождение оптимального в отношении «время обучения – качество обучения» числа нейронов для решения данной задачи.

Анализируя состояние данной проблемы, можно выделить несколько основных вопросов для выбора нейронной сети. Во-первых, одним из основных вопросов является способ реализации нейронной сети. Несмотря на появление на рынке специализированных нейрокомпьютеров, их стоимость не может удовлетворить конечного потребителя. В настоящее время наиболее целесообразной является реализация нейронной сети программным способом, поскольку предоставляется возможность использовать уже имеющееся оборудование, и модификация параметров сети не требует изменения основных плат компьютера. Реализацию такого программного продукта наиболее просто произвести с использованием специализированных средств для разработки программ.

Второй вопрос, который необходимо решить – это структура нейронной сети. Анализ структур нейронных сетей [2] показывает, что для математического моделирования сложных плохо формализованных систем физической или технологической природы необходимо использование многослойных нейронных сетей.

К сожалению, традиционные искусственные нейронные сети оказались не в состоянии решить проблему стабильности-пластичности. Очень часто обучение новому образу уничтожает или изменяет результаты предшествующего обучения. В некоторых случаях это не существенно. Если имеется только фиксированный набор обучающих векторов, они могут предъявляться при обучении циклически. В сетях с обратным распространением, например, обучающие

векторы подаются на вход сети последовательно до тех пор, пока сеть не обучится всему входному набору. Однако, если полностью обученная сеть должна запомнить новый обучающий вектор, то он может изменить веса настолько, что потребуются полное переобучение сети.

В реальной ситуации сеть будет подвергаться постоянно изменяющимся воздействиям, она может никогда не увидеть один и тот же обучающий вектор дважды. При таких обстоятельствах сеть часто не будет обучаться, она будет непрерывно изменять свои веса, не достигая удовлетворительных результатов.

Более того, в работе [3] приведены примеры сети, в которой только четыре обучающих вектора, предъявляемых циклически, заставляют веса сети изменяться непрерывно, никогда не сходясь. Такая временная нестабильность явилась одним из главных факторов, использования адаптивной резонансной теории (АРТ), которая является одним из результатов исследования этой проблемы [2, 3]. Сети и алгоритмы АРТ сохраняют пластичность, необходимую для изучения новых образов, в то же время, предотвращая изменение ранее запомненных образов.

С учетом сказанного выше, для распознавания вейвлет-образов искаженных электрических сигналов, которые имеют место в сетях 0,38/0,22 кВ, выбрана программно реализованная модель нейронной сети с использованием АРТ.

После того как нейронная сеть обучена и распознает искажение, необходимо произвести процесс классификации, таким образом, весь процесс анализа делится на три шага:

1. Выделение особенностей сигнала;
2. Распознавание образа выделенного искажения;
3. Классификация искажений.

Рассмотрим процесс распознавания формы вейвлет-образа с использованием вейвлетного нейросетевого классификатора. Основная идея вейвлетного нейронного классификатора – осуществить распознавание формы сигнала в вейвлетной области, используя искусственные нейронные сети. На рис. 1 изображена принципиальная схема вейвлетного нейронного классификатора, которая включает: фазы подготовки – вейвлет-преобразование входного сигнала, обработки – исследование вейвлет-коэффициентов с помощью нейронных сетей, последующей обработки – принятия решения о типе искажения в соответствии со значениями выходов нейронных сетей. Вход классификатора – искаженный сигнал (временная область определения). Выход – вид искажения, определенный с некоторой степенью достоверности. Степень достоверности определяет степень доверия к принятому решению.

На вход нейронной сети подается предварительно обработанный сигнал. В этом случае форма вейвлет-искажения преобразуется из временной в вейвлетную пространственно-временную, до того как поступить на вход нейронной сети. Это преобразование выделяет особенности искажений одновременно в форме частотной и временной информации.

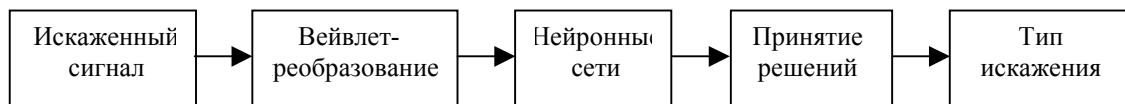


Рис. 1. Принципиальная схема вейвлетного нейронного классификатора.

Фаза обработки содержит набор составных нейронных сетей с коэффициентами вейвлет-преобразования на входе. Эта фаза обработки необходима для распознавания формы волны в области определения (вейвлетной). Выход фазы обработки – тип искажения. Однако, так как для определения типа искажения используются составные нейронные сети, фаза постобработки требует комбинации выходов составных частей нейронных сетей: в соответствии с законом принять решение о виде искажения и обеспечить уровень доверия к принятому решению.

Для этой цели применена схема голосования. Нейронная сеть АРТ имеет входной вектор X – это коэффициенты вейвлетного преобразования. Эта информация позволит настроиться нейронам так, чтобы выходной нейрон реагировал на подобные векторы входных образов. Выход нейросети – множество значений, соответствующих классам искажений.

В конце фазы обучения считается, что каждый нейрон оптимально настроен к входным сигналам. Фаза обучения считается оконченной, когда настроенная сеть распознает обучающие входные сигналы с высокой точностью.

Для того чтобы принять решение о типе искажения, выходы от каждой нейронной сети должны быть скомбинированы. Самый оптимальный способ – использовать схему голосования. Схема голосования – метод комбинирования выходов нейронной сети. Решение осуществляется на основе того, какой тип искажения получил больший голос [4]. Точность решения представлена как согласованный уровень, определенный как отношение общего количества голосов к полученному количеству.

Алгоритм нейросетевой классификации искажений по их вейвлет-образам изображен на рис.2.

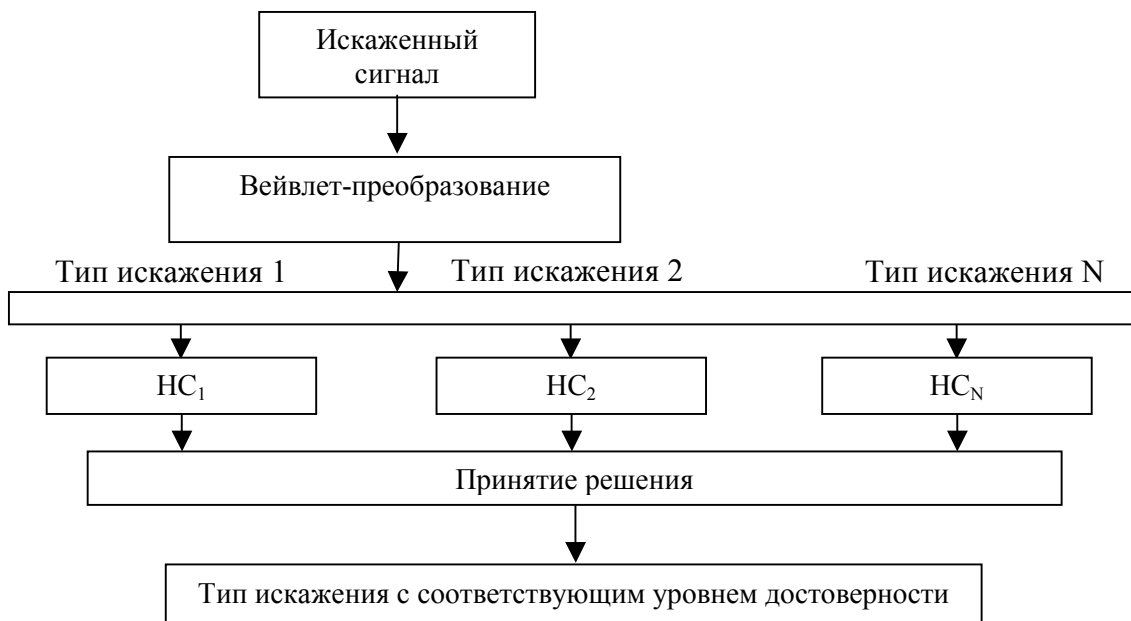


Рис. 2. Алгоритм нейросетевой классификации искажений по их вейвлет-образам.

В соответствии с принципиальной схемой, показанной на рис.2, искаженный сигнал поступает через блок вейвлет-преобразования на вход нейросетевого классификатора. Конечной целью является принятия решения о типе искажения. Структура распознавания сигнала имеет вид представленный на рис.3.

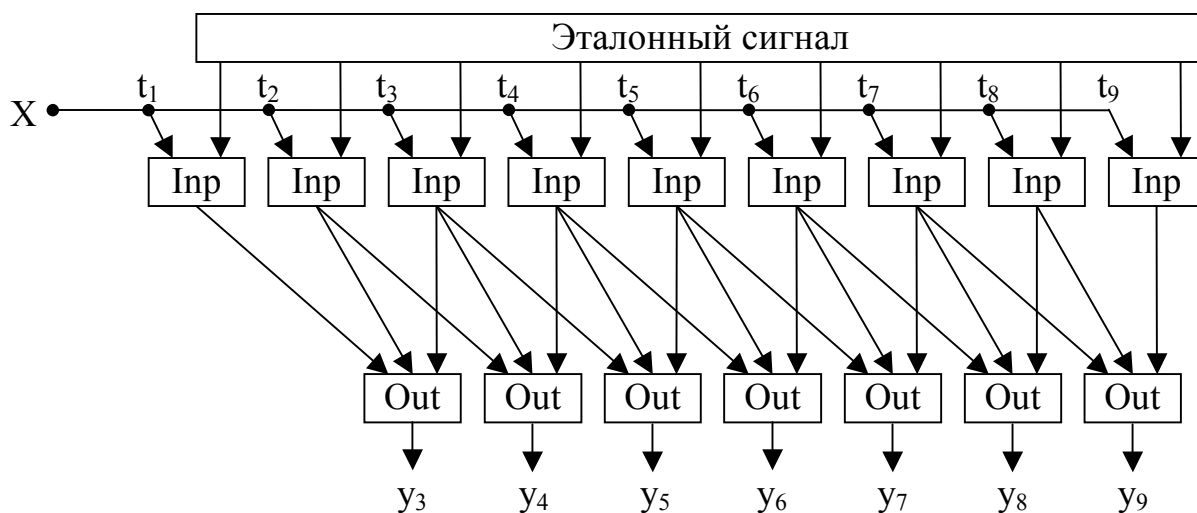


Рис. 3. Структура нейронной сети для распознавания одной функции.

В структуре нейронной сети (рис. 3) приняты следующие обозначения:

X – входной сигнал, который последовательно поступает на каждый вход входного слоя нейронов с задержкой на один такт на каждый следующий нейрон;

t_i – i -й такт нейронної мережі;

y_i – вихідний сигнал сформований на i -ом такте показуючий в процентному співвідношенні на скільки вхідний сигнал відповідає еталонному;

InpNe – вхідний нейрон маючий два входи і один вихід, його структура представлена на рис. 4;

OutNe – проміжний (вихідний) нейрон маючий три входи і один вихід, його структура представлена на рис.б.

Рассмотрим нейроны, которые используются для распознавания вейвлет-образов. Нейрон входного слоя НС распознавания простого сигнала имеет два входа и один выход. Так же имеет Гауссову кривую в качестве функцию активации, центр которой задается одним из входов – эталонный сигнал, второй вход предназначен для ввода информации – входной сигнал. На выходе информация о соответствии входной величины и эталонной, при полном соответствии величина равна единице.

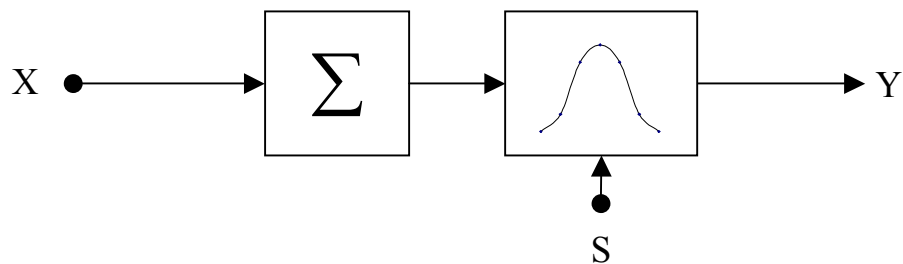


Рис. 4. Структура входного нейрона.

Гауссова функция активации описывается выражением:

$$OUT = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \sigma} e^{-\frac{(NET-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где OUT – выход искусственного нейрона;

NET – промежуточная переменная после сумматора в искусственном нейроне.

m – пик функции;

σ – пологость функции.

Данный нейрон описывается следующим математическим выражением:

$$y = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} e^{-\frac{x-s}{2}}, \quad (2)$$

где y – выходной сигнал;

x – входной сигнал;

s – эталонный сигнал.

Выходной сигнал нейрона имеет вид, представленный на рис. 5.

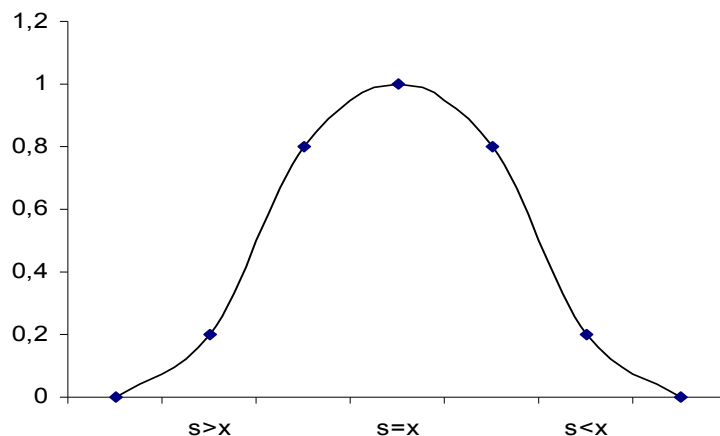


Рис. 5. Выходная функция входного слоя нейронов.

Точка на графике функции, имеющая значение равное единице, показывает что входной и эталонный сигнал равны. Все остальные точки показывают степень отличия входного сигнала от эталонного.

Промежуточный (выходной) нейрон имеет три входа (может иметь больше), и выполняет роль сумматора. Но при суммировании входные сигналы перемножаются на весовые коэффициенты, которые выполняют функцию выделения полезного участка сигнала.

На выходе данного нейрона мы получаем процентное соответствие входного сигнала по отношению к эталонному в разные моменты времени. Данная величина колеблется от 0 до 100%.

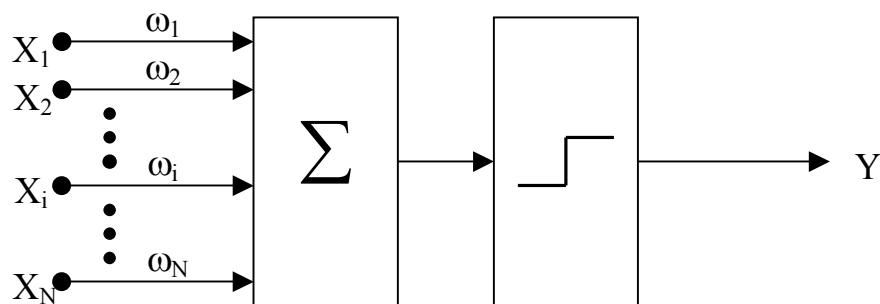


Рис. 6. Структура промежуточного (выходного) нейрона.

Данный нейрон описывается математическим выражением:

$$y = \sum_{i=1}^N \omega_i \cdot x_i, \quad (3)$$

где y – выходной сигнал;
 x_i – входной сигнал;
 ω_i – входной сигнал;
 i – номер входа;
 N – число входов.

Выводы. Используя нейронную сеть на основе адаптивной резонансной теории появляется возможность выполнять распознавание вейвлет-образов несинусоидальных искажений, которые имеют место в сетях 0,38/0,22 кВ.

Литература

1. *Шидловский А. К.* Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях / *А. К. Шидловский, А. Ф. Жаркин.* – К.: Наукова думка, 2005. – 210 с.
2. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / *Ф. Уоссермен.* Перевод на русский язык, Ю. А. Зуев, В. А. Точенов. – М.: Изд-во «Мир», 1992. – 184 с.
3. *Anil K. Jain.* Artificial Neural Networks / *Anil K. Jain, Jianchang Mao, K.M. Mohiuddin.* – Tutorial, Computer, Vol.29, No.3, March. – 1996.
4. *Хайкин Саймон.* Нейронные сети / *Хайкин Саймон,* Полный курс 2-е изд., испр.: Пер. с англ. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ОБРАЗУ СПОТВОРЕНОГО НЕСИНУСОЇДАЛЬНОГО СИГНАЛУ

П. Д. Лежнюк, А. А. Мирошник

Анотація – для розпізнавання вейвлет-образу несиносоїдальний сигналів запропоновано використовувати нейронну мережу на базі адаптивно-резонансної теорії. Розроблена принципова схема вейвлетного нейронного класифікатору та алгоритм нейромережної класифікації спотворень за їх вейвлет-образам.

USING NEURAL NETWORK FOR DETECT OF WAVELET DISTORTED NONSINUSOIDAL SIGNAL

P. Lezhnyuk, A. Miroshnik

Summary

For detect wavelet image nonsinusoidal signals proposed to use a neural network based on adaptive of resonance theory. A principal scheme of wavelet neural classifier and algorithm neural network classification distortion of wavelet image.

УДК 681.3

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Фурман І. О., д.т.н.,

Піскарьов О. М., к.т.н.

Харківський національний технічний університет

сільського господарства ім. П. Василенка

Тел.: 057-712-35-37

Анотація: проаналізовані напрямки забезпечення підвищення якості обробки ґрунту та зменшення енергоємності процесу та обґрунтування параметрів робочих органів на базі сучасних мікроконтролерних систем.

Ключові слова: мікропроцесорна система, мікроконтролер, культиваторна лапа, вимірювання.

Аналіз досліджень. До сучасних методів виміру технологічних параметрів обробки ґрунту висуваються досить високі вимоги: точність, надійність та можливість подальшої комп'ютерної обробки результатів вимірів. Для реалізації цих вимог й подальшого розвитку засобів обробки ґрунту пропонується створення мікроконтролерних систем контролю та діагностики на сучасній елементній базі з використанням математичних моделей [1].

Мета статті – навести особливості створення мікроконтролерних систем контролю параметрів технологічних процесів на прикладі виміру зусиль культиваторної лапи.

Основні матеріали дослідження. У цей час вимір зусиль виконується за допомогою динамометру, показання якого записуються вручну або за допомогою відеозасобів. Це приводить до виникнення помилок і унеможливорює повноцінний математичний аналіз роботи систем обробки ґрунту. Для вирішення цих питань пропонується мікроконтролерна система, яка дозволить вимірювати значення відповідного параметра й записувати його в пам'ять комп'ютера для подальшого використання.

Сучасні мікроконтролери (МК) містять у собі всі необхідні складові для створення таких систем: аналого-цифровий

перетворювач, арифметико-логічна частина, блок взаємодії з комп'ютером за USB протоколом та інше.

Крім елементної бази важливе значення має програмне забезпечення - його доступність, можливість використання в різних операційних системах та зручність передачі даних у математичні пакети.

З урахуванням наведеного вирішено використовувати МК С8051F320, що представляє собою інтегровану на одному кристалі систему для обробки змішаних (аналого-цифрових) сигналів. Відмінні риси цих МК: мікропроцесорне ядро СІР-51 з конвеєрною архітектурою, сумісність зі стандартом 8051 (максимальна продуктивність - 25MIPS); вбудовані засоби налагодження, що забезпечують внутрішньо системне налагодження в режимі реального часу, Usb-контролер; регулятор напруги живлення, 10-розрядний 17-канальний АЦП (максимальна продуктивність – 200 тис.перетв./с.) з однофазними / диференціальними входами й аналоговим мультиплексором; вбудовані джерело опорної напруги та датчик температури; вбудовані компаратори напруги; високоточний програмований внутрішній генератор та 4-кратний помножувач тактової частоти, 16 КБайт вбудованої Flash-Пам'яті; апаратно реалізовані послідовні інтерфейси, чотири 16-розрядні таймери загального призначення; програмований масив лічильників / таймерів з п'ятьма модулями порівняння й сторожовий таймер; схема спостереження за напругою живлення, 25/21 портів вводу/виводу з допустимою напругою на виводах 5В.

Таким чином, МК С8051F320 являє собою функціонально закінчену систему на кристалі (рис. 1). Є можливість внутрішньо схемного програмування Flash-Пам'яті, забезпечує довгострокове збереження даних, а також дозволяє здійснювати відновлення програмного забезпечення. Програма користувача може керувати всіма периферійними модулями, а також індивідуально відключити кожний з них з метою зменшення енергоспоживання.

В будований SiliconLabs Development Interface дозволяє виконувати внутрішньо схемне налагодження в режимі реального часу, використовуючи МК. Засоби налагодження забезпечують перевірку й модифікацію пам'яті й регістрів, покрокове виконання програми, а також підтримують команди запуску й зупинки. У процесі налагодження усі аналогові й цифрові периферійні модулі повністю зберігають свою працездатність.

Два виводи інтерфейсу можуть використовуватися для інших функцій користувача, що дозволяє здійснювати внутрісистемні налагодження. МК призначений для роботи в промисловому температурному діапазоні (-40 °С... +85 °С) при живленні 2,7 В ...3,6

В. На порти входу / виходу можуть бути подані вхідні сигнали напругою до 5В. МК С8051F320 випускаються в 32-вивідних корпусах типу LQFP і 28-вивідних корпусах типу MLP.

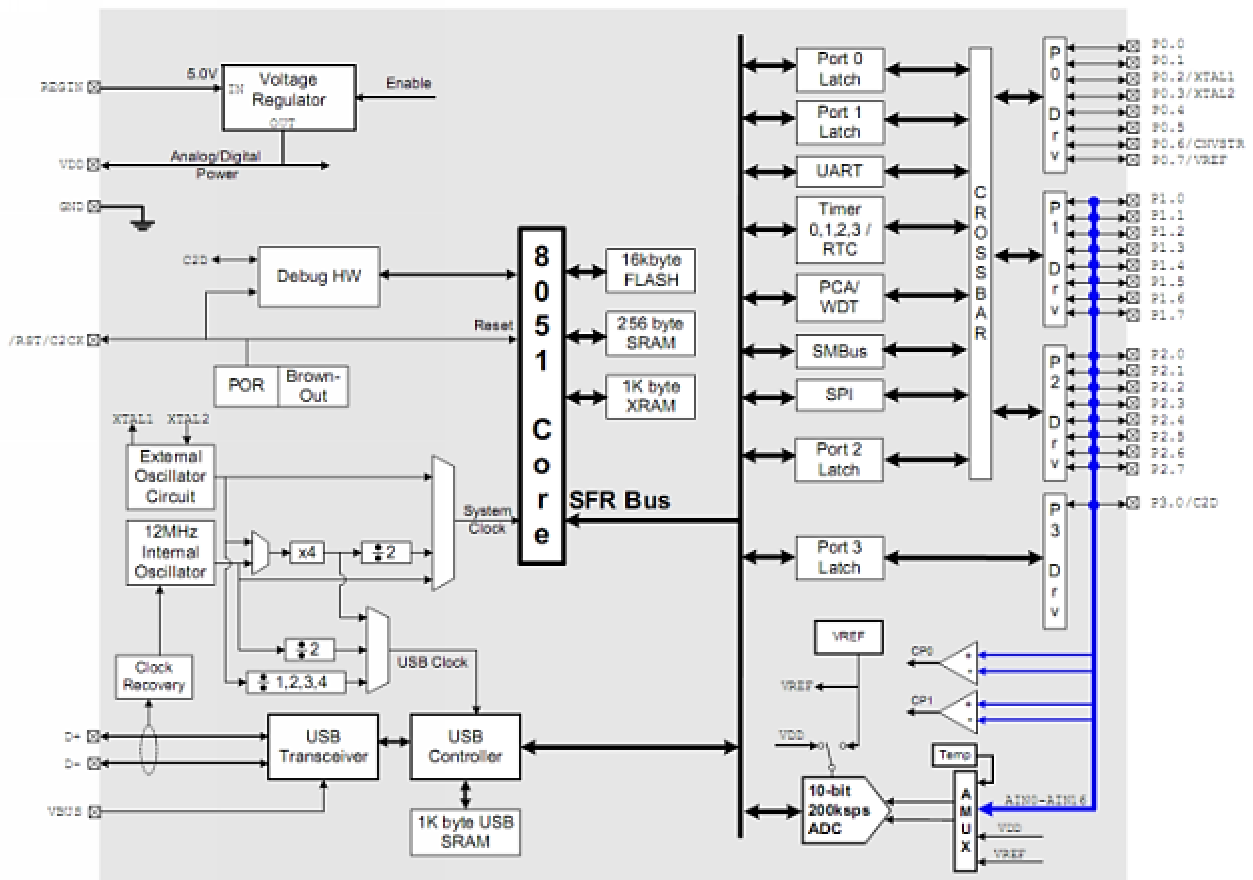


Рис. 1. Структурна схема МК.

Результати вимірів передаються до таких програм як MS Excel і Matlab, що дозволяє зрівняти результати вимірів з результатами математичного моделювання [2,3], і зробити висновки по роботі як математичного апарата, так і безпосередньо роботи робочого органа.

Сучасна елементна база й програмне забезпечення дозволяють створювати мікропроцесорну систему контролю й діагностики параметрів технологічних процесів з можливістю подальшого зберігання й обробки результатів вимірів, що дозволить суттєво поліпшити технологію оптимізації параметрів робочих органів [4] обробки ґрунту.

Висновки. При створенні нових робочих органів культиваторів є доцільним комплексне розв'язання задач підвищення якості функціонування при зменшенні витрат на виконання технологічних операцій. При цьому, резервом забезпечення підвищення якості обробки ґрунту та зменшення енергоємності процесу, слід вважати дослідження та обґрунтування параметрів робочих органів культиваторних лап за допомогою сучасних МК-систем.

Література

1. *Трамперт В.* Измерение, управление и регулирование с помощью AVR-микроконтроллеров / *В. Трамперт*: Пер. с нем. - К.: "МК-Пресс", 2006. - 208 с.
2. *Лурье А. Б.* Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления. / *А. Б. Лурье*. - Л.: Колос, Ленингр. отд, 1979. - 312 с.
3. *Мэнли Р.* Анализ и обработка записей колебаний / *Р. Мэнли*. - М.: Машиностроение, 1972. - 367 с.
4. *Синеоков Г. Н.* Полезные и вредные сопротивления плуга / *Г. Н. Синеоков* // Тракторы и сельхозмашины. - 1959. - №2.

**ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ
СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

И. А. Фурман , А. Н. Пискарев

Аннотация - проанализированы направления повышения качества обработки грунта и уменьшение энергоемкости процессу. Обоснованы параметры рабочих органов на базе современных микроконтроллерных систем.

**FEATURES MICROCONTROLLER DEVELOPMENT SYSTEM
TO DETERMINE THE WORKING ELEMENTS
AGRICULTURAL MACHINES**

I. Furman, A. Piscarev

Summary

Analyzed the direction to improve the quality of soil treatment and reduction of energy consumption. The choice of the parameters of the working elements of agricultural machines, based on advanced microcontroller systems.

УДК 681.5

АЛГОРИТМ ТРАНСЛЯЦИИ ТАБЛИЧНОГО КОДА THDL В СИНТЕЗИРУЕМЫЙ ТЕКСТОВЫЙ HDL-КОД

Малиновский М. Л., д.т.н.,

Конищева А. П., инж.

*Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства им. П.Василенка*

Аленин Д. А., инж.

ООО НПП «Стальэнерго»

Тел.: 057-712-35-37

Аннотация: проанализированы табличные инструментальные средства описания цифровых устройств, разработан транслятор из табличного формата на языке THDL в язык Verilog.

Ключевые слова: проектирование цифровых устройств, транслятор, THDL, Verilog.

Постановка задачи. Существующие среды проектирования цифровых устройств (ISE, Quartus) поддерживают инструментальные средства, которые можно разделить на текстовые (языки описания аппаратуры VHDL, Verilog и др.) и графические (средства структурного и поведенческого описания). Графические средства наглядны и компактны. Их использование упрощает взаимодействие и улучшает взаимопонимание в коллективе разработчиков. Такие программы лучше поддаются анализу и коррекции.

Большинство разработчиков в качестве основного используют текстовый инструментарий. Такое положение дел объясняется как субъективными, так и объективными факторами, в том числе тем, что текст не привязан к редактору, текстовые средства обладают большими возможностями и гибкостью при описании устройств, требующих использования вложенных конструкций, параметризуемых устройств с регулярной архитектурой и т.д.

Существует противоречие между наглядностью одних средств и универсальностью других. По мнению авторов, табличные средства способны в значительной степени разрешить данное противоречие.

Примеры использования табличных форм имеются в существующих средах проектирования. В частности, при создании нового компонента в среде ISE описание интерфейсной части возможно пу-

тем заповнення таблиці входів-виходів. В редакторе Quartus підтримується інструментарій табличного описання автоматів. В текстовому мові АНДЛ існує зручна таблична конструкція TABLE, що дозволяє описати логічні залежності (рис. 1).

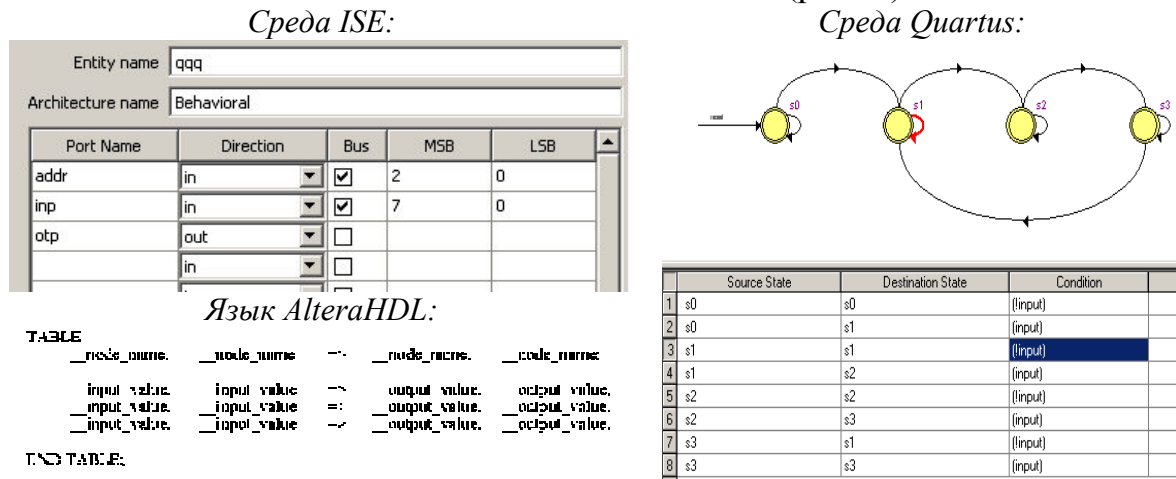


Рис. 1. Примеры использования табличных форм.

Универсальные табличные языки, которые позволили бы в полной мере использовать все преимущества табличных форм для описания цифровых устройств, в настоящее время отсутствуют.

В связи с этим актуальной является задача разработки табличных инструментальных средств описания цифровых устройств и трансляции табличного описания в поддерживаемые существующими компиляторами текстовые форматы.

Анализ публикаций. Подходы к методам трансляции представлены в [2], описание табличных языков проектирования – в [1], [3], [5] описание языка Verilog в [4]. Анализ публикаций подтверждает наличие предпосылок применения табличных языков и актуальность задачи разработки транслятора с табличного языка в компилируемый текстовый язык.

Целью исследования. Обеспечение возможности практического применения гибкого и универсального табличного языка для описания цифровых устройств.

Основные материал исследования. THDL (Tabular Hardware Description Language) – табличный язык описания цифровых устройств. В программе на THDL выделяются две части: 1) интерфейсная часть – объявление имени компонента и описания сигналов; 2) логическая часть – описание логики работы устройства.

Основными табличными конструкциями первой части являются COMPONENT и BINARY SIGNALS. На рисунке 2 приведен пример использования данных конструкций. Слева при помощи языка THDL объявлен компонент test_thdl и описаны его сигналы различных типов и разрядности. Справа – те же данные, описанные на языке Verilog.

COMPONENT					
test_thdl					
5	BINARY SIGNALS				
	TYPE	NAME	MSB	LSB	VALUE
	CLOCK	CLK			
	RESET	RST			
	IN	BYTE	7	0	
		DATA_IN	2	0	
		LOAD			
		UP_DN			
	OUT	DATA_OUT	7	0	
	OUT REG	Q	2	0	"001"

```

module
test_thdl (CLK,RST,BYTE,DATA_IN,LOAD,U
P_DN,DATA_OUT,Q);
input CLK, RST, LOAD, UP_DN;
input [7:0] BYTE;
input [2:0] DATA_IN;
output [7:0] DATA_OUT;
output [2:0] Q;

wire CLK;
wire RST;
wire [7:0] BYTE;
wire [2:0] DATA_IN;
wire LOAD;
wire UP_DN;

reg [7:0] DATA_OUT;
reg [2:0] Q;
    
```

Рисунок 2 – Описание интерфейсной части на THDL и Verilog

3 ACTION	
	Q = Q + 1
	DATA_OUTP = !BYTE

a)

2 PRIORITY CONDITION		ACTION
LOAD		Q = DATA_IN
UP_DN		Q = Q + 1
ELSE		Q = Q - 1

б)

```

always @(*)
begin
DATA_OUTP<= !BYTE; end
always @(posedgeCLK)
begin
Q<= Q + 1; end
always @(posedge CLK)
begin
if (LOAD)
begin
Q <= DATA_IN; end
else if (UP_DN)
begin
Q <= Q + 1; end
else
begin
Q <= Q - 1; end
end
always @(posedge CLK)
begin
if (addr_ld)
begin
if (addr_in == "1010")
begin
w_match<= 1;
r_match<= 0; end
else if (addr_in == "1011")
begin
w_match<= 0;
r_match<= 1; end
else
begin
w_match<= 0;
r_match<= 0; end
end
else
begin
w_match<= 0;
r_match<= 0; end
end
end
    
```

7 PRIORITY ARGUMENT		FUNCTION	
addr_ld	addr_in	w_match	r_match
1	"1010"	1	0
	"1011"	0	1
	else	0	0
ELSE		0	0

в)

Рис. 3. Описание логической части устройства на THDL и Verilog: конструкции ACTION, PRIORITY CONDITION и PRIORITY ARGUMENT.

В логической части используются следующие конструкции:

- ACTION, FUNCTION – конструкции, описывающие действия;
- CONDITION, PRIORITYCONDITION, ARGUMENT, PRIORITYARGUMENT – конструкции, описывающие условия, при которых выполняются определенные действия.

Пример использования конструкций логической части приведен на рисунке 3 (слева - THDL-описание, справа – Verilog-описание):

а) Конструкция ACTION – инкрементируется значение регистра сигнала Q и присваивается значение комбинационному сигналу DATA_OUTP;

б) Конструкция ACTION дополнена условием с приоритетом PRIORITYCONDITION. Если получен сигнал LOAD, выполняется действие $Q \leq DATA_IN$. Если сигнал LOAD не получен, а получен UP_DN, сигнал Q инкрементируется. При неполучении ни одного из перечисленных сигналов значение Q декрементируется;

в) Конструкции PRIORITY ARGUMENT и FUNCTION. При получении сигнала addr_Id проверяется значение аргумента addr_in. По результатам проверки функциям w_match и r_match присваиваются соответствующие значения.

Разработанный транслятор обеспечивает возможность ввода описания в табличном формате на языке THDL и трансляции этого описания в язык Verilog. Алгоритм трансляции будем рассматривать на примере реализации счетчика по модулю 6 (рис. 4), которую можно описать при помощи табличных и текстовых конструкций (рис.5).

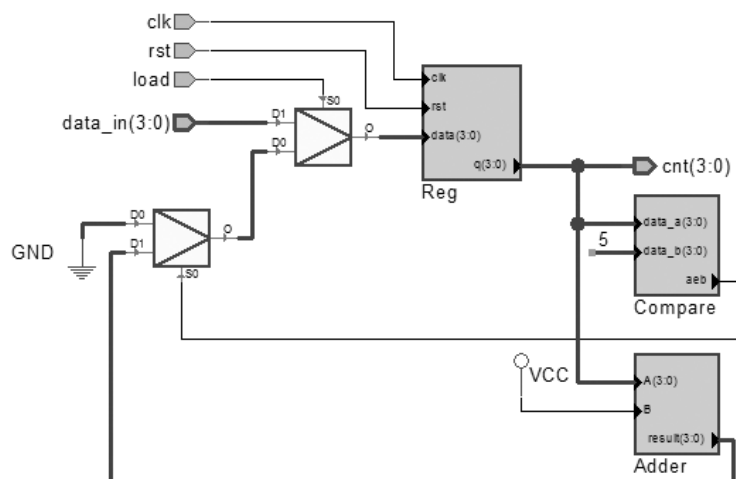


Рис. 4. RTL-схема счетчика по модулю 6.

Трансляция заключается в преобразовании табличных конструкций в текстовые, при этом схемная реализация устройства должна оставаться идентичной. Как упоминалось выше, любая программа состоит из двух частей – интерфейсной и части, описывающей логику работы устройства. Алгоритм трансляции интерфейсной части зави-

сит от синтаксиса языка и не вызывает сложностей. Рассмотрим алгоритм трансляции части, описывающей логику работы.

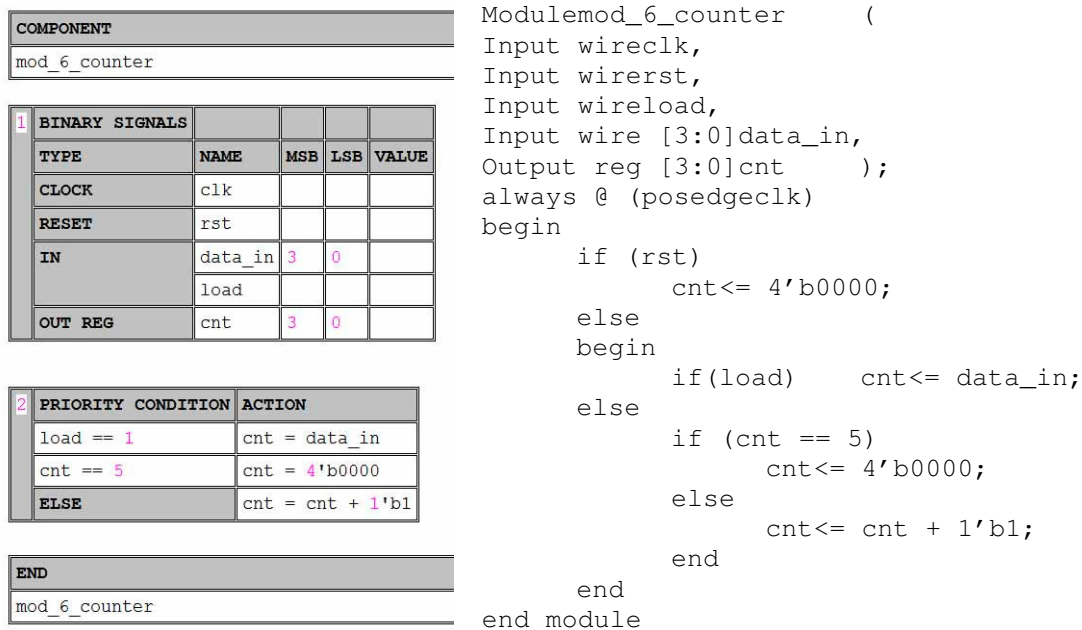


Рис. 5. Табличное и текстовое описание счетчика по модулю 6.

Поскольку табличные конструкции этой части описывают только логику и не учитывают тип сигнала (комбинационный или регистровый), удобно разбить схему на два блока – комбинационный и регистровый (рис. 6) и далее для каждой из этих частей формировать описание в текстовом формате.

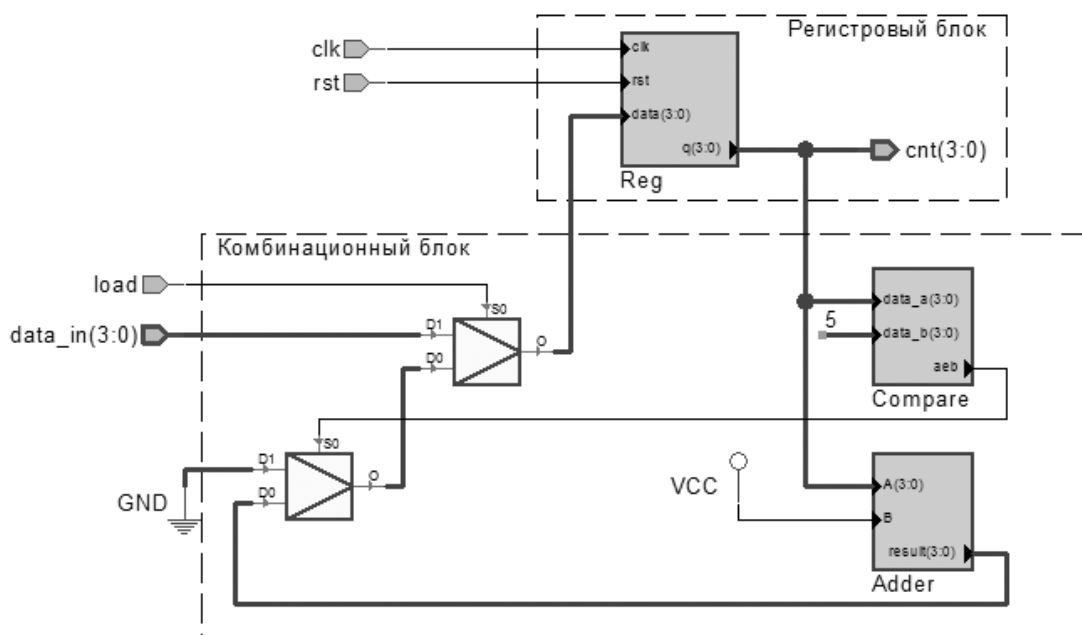


Рис. 6. Регистровый и комбинационный блоки RTL-схемы.

Все вычисления и присваивания будем производить в комбинационном блоке, а сохранение результатов – в регистровом.

Для этого необходимо для каждого регистрового сигнала создать вспомогательный сигнал такой же разрядности. Присвоим ему имя основного сигнала с приставкой `next_`. Таким образом, для регистровых сигналов появится два значения – сохраненное (будем его использовать в условиях и в правой части выражений присваивания) и текущее – с приставкой `next_` (будем его использовать в регистровом блоке в левой части выражений присваивания).

В комбинационном блоке каждую табличную конструкцию будем разбирать в соответствии с заданным шаблоном (табл. 1). Для сохранения результатов в регистровом блоке регистровым сигналам необходимо присвоить значение, определенное в комбинационном блоке (присвоенное сигналу с приставкой `next_`). Таким образом, последовательность заполнения шаблона текстового описания соответствует диаграмме, приведенной на рис.7.

Таблица 1 – Соответствие табличных конструкций текстовым

Табличная конструкция	Текстовая конструкция
CONDITION ARGUMENT	if (condition_1) ... if (condition_n) ... if (!condition_1 and...and !condition_n)
PRIORITYCONDITION PRIORITYARGUMENT	if (condition_1) ... else if (condition_2) ... else if (condition_n) ... else

Для проектирования цифровых устройств с использованием табличных конструкций создан редактор EditorTHDL. Интерфейс редактора приведен на рисунке 8. Начинать работу необходимо с создания проекта (а) и компонента в данном проекте (б). Далее из списка существующих табличных конструкций выбирают требуемую (в). Программа будет представлять собой перечень необходимых табличных конструкций (г). После создания табличного описания разработчик запускает трансляцию и получает Verilog-код (д).



Рис. 7. Последовательность действий при трансляции табличного описания текстовое.

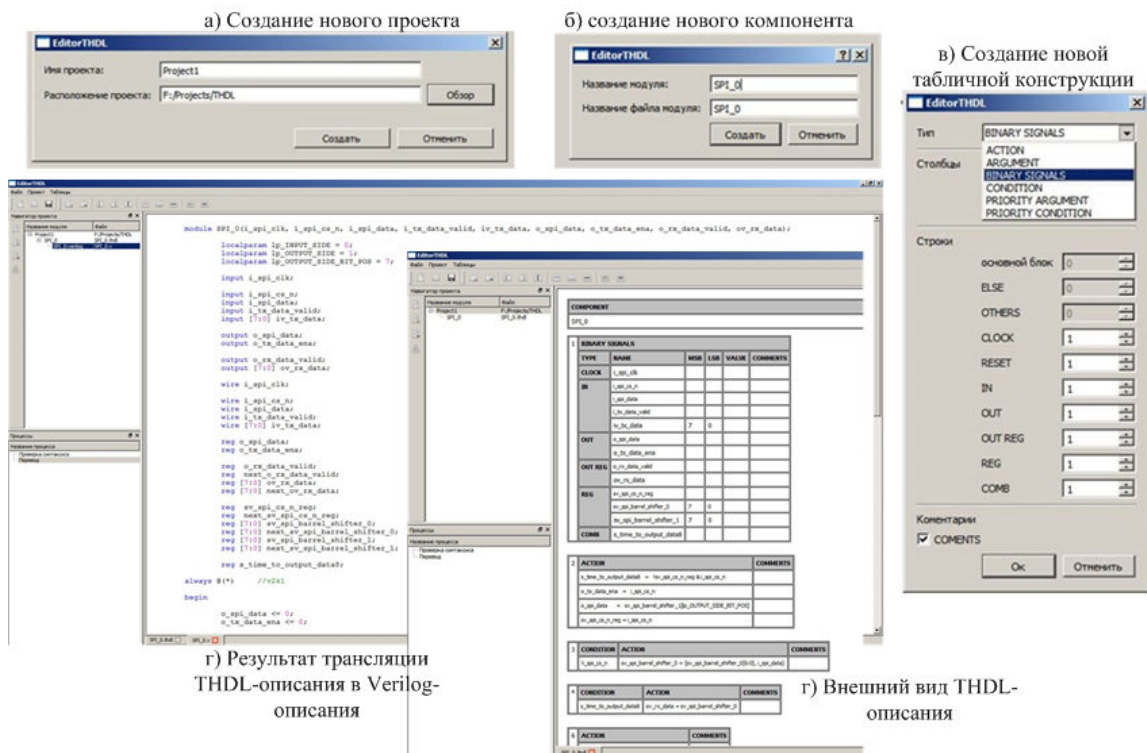


Рис. 8. Интерфейс редактора EditorTHDL.

Вывод. Полученный в результате исследования табличный язык THDL является универсальным средством проектирования цифровых устройств, а также позволяет повысить качество и снизить трудозатраты на создание программного обеспечения.

Разработанный алгоритм трансляции и табличный редактор EditorTHDL дает возможность использовать язык THDL при решении практических задач, связанных с проектированием цифровых устройств на основе заказных и программируемых интегральных схем.

Литература

1. Методы и средства табличного описания аппаратуры цифровых устройств / Малиновский М.Л., Конищева А.П., Сидоренко А.В., Казинов И.А. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті – УкрДАЗТ. – 2011. - №4. – С. 69-72
2. Свердлов С.З. Языки программирования и методы трансляции: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2007. – 638с.: ил.
3. Languages and General Software Aspects for Telecommunication Systems. The Tree and Tabular Combined Notation. v.3 07/2001 ITU
4. IEEE Standard Verilog. Hardware Description Language 03/2001
5. Концепция создания табличных языков описания аппаратуры / М.Л. Малиновский, И.А. Фурман, А.Ю. Аллашев, А.П. Конищева, А.В. Святобатъко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 2010, №6 (47). - С. 289-291.

АЛГОРИТМ ТРАНСЛЯЦІЇ ТАБЛИЧНОГО КОДУ THDL У СИНХРОНІЗОВАНИЙ ТЕКСТОВИЙ HDL-КОД

М. Л. Малиновський , А.П. Коніщева , Д. О. Алєнін

Анотація

Проаналізовані табличні інструментальні засоби представлення цифрових пристроїв, розроблено транслятор з табличного формату на мові THDL у мову Verilog.

ALGORITHM A CONVERTING TABULAR CODE THDL IN SYNTHESIZED HDL-TEXT CODE

M. Malinovsky, A. Konicheva, D. Alenin

Summary

Analyzed tabular tools description of digital devices designed converter from a table format in the language THDL in the Verilog language.

УДК 681.5.017

КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ НА ОСНОВІ ПРЯМОГО СПАЛЮВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ МАСИ

Діордієв В. Т., д.т.н.,

Кашкар'єв А. О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: 0619-42-57-97

Анотація - проаналізовані технології підтримання параметрів мікроклімату та основні чинники їх коливання. Запропоноване пряме спалювання біологічних матеріалів рослинного походження у теплиці на основі застосування електрофільтру. Така технологія підвищує ККД використання палива та забезпечує насичення очищеним вуглецем об'єм теплиці.

Ключові слова – мікроклімат, спалювання біологічної маси, електрофільтр, теплиця, вуглекислий газ.

Постановка проблеми. Проблема раціонального використання енергетичних ресурсів у сільськогосподарському виробництві з кожним роком стає все більш актуальною в Україні та в усьому світі. Основним фактором, який стримує розвиток та розповсюдження рослинництва захищеного ґрунту є його енергоємність, яка одночасно сприяє упровадженню наукових досягнень, вимагаючи від господаря не тільки раціонального використання ресурсів, а ще й пошуку нових методів ведення господарства [1, 2].

На 1 кг овочів у тепличному господарстві витрачається 10...15 кг умовного палива, а витрати енергоресурсів мають тенденцію до збільшення, крім того зростає їх вартість. Кожний відсоток приросту зумовлює збільшення енерговитрат на 2...3% [2, 4]. Отже, сучасне рослинництво захищеного ґрунту в енергетичному відношенні малоефективне. Між тим, навіть при існуючому рівні питомих енерговитрат овочівництво захищеного ґрунту є незамінним джерелом забезпечення населення ранніми овочами у несезонний період і до того ж забезпечує розсадою відкритий ґрунт, де біля 30% всіх овочів вирощується розсадним способом [3].

При загалом високому рівні електрифікації та автоматизації існуючих технологічних схем підтримання параметрів мікроклімату

залишаються ще невирішені проблеми та вузькі місця, що головним чином відносяться до засобів автоматики та технологічних схем [1, 5].

Аналіз останніх досліджень. Теплиці, як об'єкт керування температурним режимом відносяться до найбільш складних об'єктів автоматизації, а визначення їх характеристик супроводжується певними складнощами, які слідує з особливостей об'єкта та умов його функціонування. Відрізняється об'єкт великим значеннями постійної часу, що знижує його керованість та уповільнює реакцію на зовнішні збурюючі впливи. Теплицю, як об'єкта керування температурним режимом, можна представити схематично (рис. 1) [3].

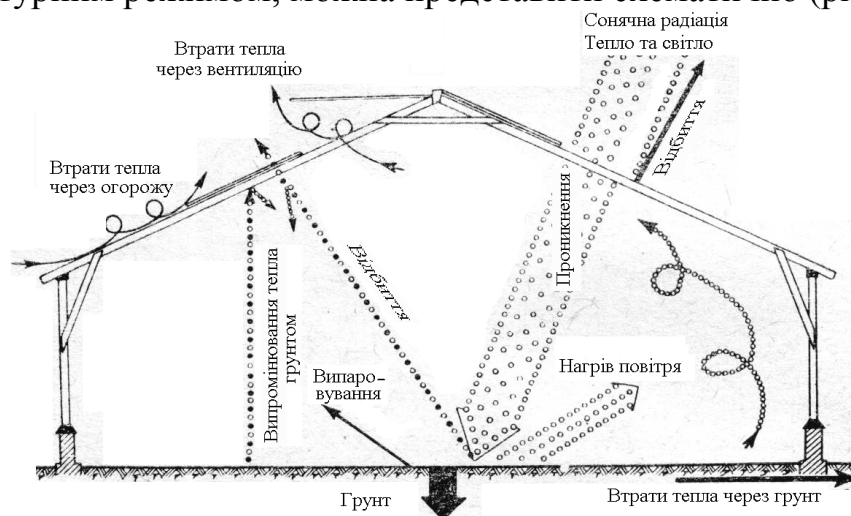


Рис. 1. Теплиця як об'єкта управління температурним режимом

Регулювання температури в теплиці значно відрізняється від регулювання її в житловому будинку. У теплиці, як правило, в період зростання рослин не потрібні додаткові джерела тепла. Регулювання температури тут в основному є регулюванням природних енергетичних потоків. Для цього використовуються кватирки, тіньові екрани, люки, що замикаються, штори, розбризкування води та ін.

На мікроклімат теплиці впливають вітер, сніг, лід, інсоляція, похмура погода, зміни температури зовнішнього повітря. У звичайних теплицях з покриттям з поліетиленової плівки в ранній уранішній годинник (близько 5 год) спостерігається похолодання, на відміну від теплиці при житловому будинку, в яку поступає тепло з житлової будівлі. У звичайних теплицях також спостерігається пониження максимуму і підвищення мінімуму температур, при цьому значно поліпшуються умови зростання [1].

Мета статті. Постає задача розробки та вибору енергоекономічних технологічних схем підтримки параметрів мікроклімату, забезпечення режимів роботи, які відповідають агротехнічним умовам закритого ґрунту.

Основні матеріали дослідження. Розвиток і зростання рослин відбуваються в межах невеликої амплітуди температурних коливань, приблизно від 7 до 30 °С. Проте якнайкращі умови для зростання рослин досягаються при ще меншій амплітуді коливань температур. Рослини реагують не тільки на температуру повітря теплиці. При інтенсивній інсоляції температура листя рослин нерідко на 10-12 °С вище за температуру повітря, а вночі вона може опуститися нижче за температуру повітря на 5-6 °С. У прохолодні ночі на листі рослин накопичується волога, яка створює серйозну небезпеку ожеледі і утворення цвілі. Підвищення температури навіть на один градус має велике значення, оскільки відносна вологість повітря при цьому зменшується приблизно на 6%. Таким чином, нічне повітря, що поступає в теплицю, доводиться обігрівати тільки на 2-3 °С, щоб на листі рослин не утворювалися краплі вологи [1]. Зміни температур, сприятливі для перебування людини в теплиці, вельми обмежені, оскільки людина знаходиться в стані спокою (практично без руху), до того ж вона зазвичай легко одягнена.

Основні способи обігріву різних споруд захищеного ґрунту [1-3]:

- основою природного обігріву є парниковий ефект. Проходячи через прозорі конструктивні елементи укриттів (стекло, поліетиленову плівку і ін.) і потрапляючи всередину, сонячні промені нагрівають приміщення, що приводить до підвищення температури повітря;
- серед видів технічного обігріву найбільш популярні водяний, газовий, пічний і електричний;
- для обігріву ґрунту можна також використовувати біологічне паливо, в якому в результаті процесу розкладання матеріалів органічного походження (зазвичай при гнитті гною в суміші з різними органічними відходами) виділяється тепло, а повітря у теплиці насичується вуглекислим газом, який необхідний рослинам для нормальної життєдіяльності;
- способи акумулювання теплоти у теплий період та її віддача за потребою.

В результаті аналізу способів обігріву теплиць звернемо увагу на спалювання біологічних матеріалів рослинного походження безпосередньо у теплиці без випуску відпрацьованого газу у зовнішнє повітря. Такий спосіб забезпечує повне використання генерованого тепла, без його віддачі в оточуюче середовище. Вуглекислий газ іноді називають добривом для рослин: у квітучих рослин настає більш раніше цвітіння, врожайність плодів збільшується, у троянд рідше відмирають бутони і виходять більші квіти. Іноді вуглекислий газ грає в питанні врожайності навіть вагомішу роль, ніж мінеральні добрива. Тому що 94% своєї сухої маси рослина синтезує з води і вуглекислого газу, і тільки решта 6% з мінеральних добрив.

Проте необхідно пам'ятати про забруднюючі речовини, що впливають на стан рослин. В основному це чадний газ (СО), який шкідливий для людей і рослин. Гранично-припустима концентрація складає 20 мг/м^3 повітря теплиці.

Окрім чадного газу шкідливу дію чинять оксиди азоту (NO_x) і сірки (SO_2). Оксиди азоту виходять при окисненні азоту повітря палива, що подається в пальник для спалювання. Гранично-припустима концентрація для людей складає по NO_x 7 мг/м^3 повітря. Концентрація NO_2 $0,00002 - 0,00006\%$ знижує врожай і виникає ушкодження поверхні листя. За даними деяких джерел допустима концентрація SO_2 складає $0,00001\%$. При збільшенні концентрації SO_2 в повітрі теплиці понад $0,00001\%$ спостерігається некроз листя. До «шкідливих» газів можна віднести етилен, фтор. Також пари фарб і розчинників, що потрапляють в атмосферу теплиці при проведенні ремонтних робіт.

Враховуючи шкідливий вплив прямого спалення пропонуємо виконувати очищення диму у двокаскадному електрофільтрі [4], а очищення від сірчаних домішок виконувати за допомогою вапняного фільтру [6] (рис. 2).

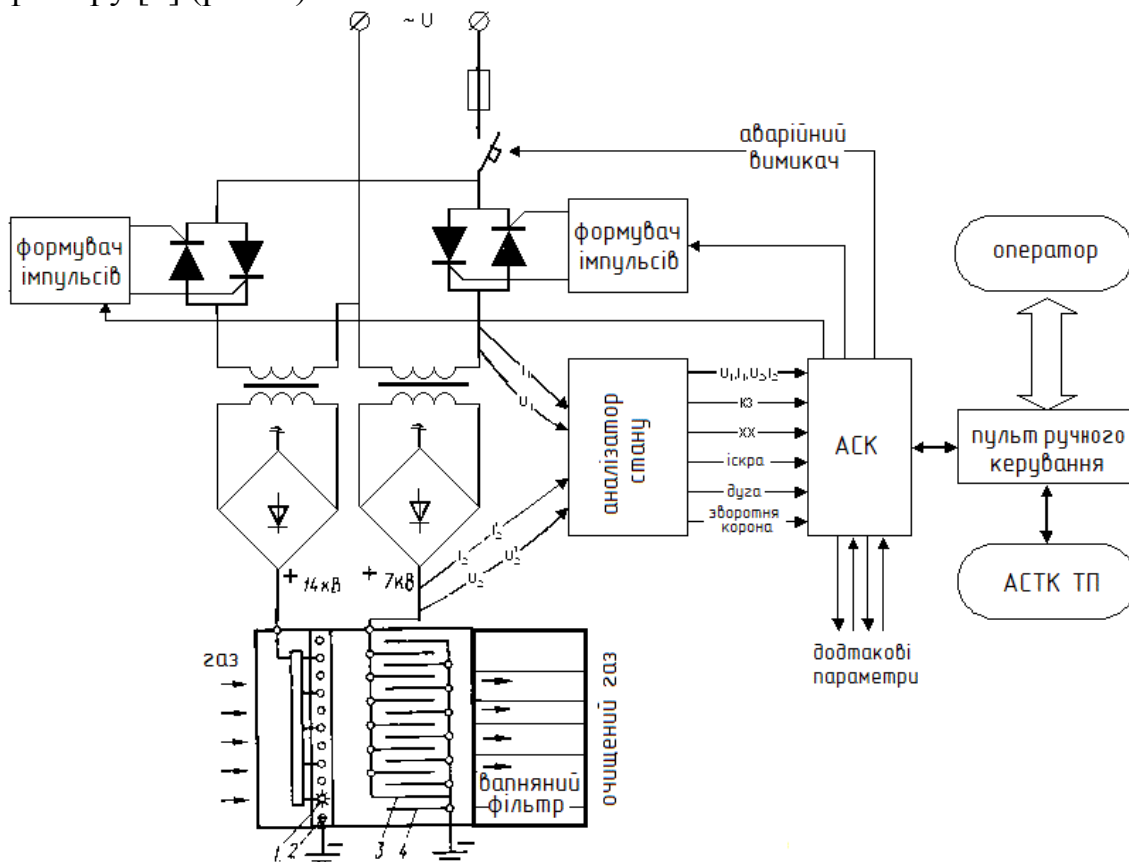


Рис. 2. Схема пристрою очищення вуглекислого газу

Електрофільтр відноситься до найбільш ефективних пиловловлюючих апаратів. Ефективність очистки досягає $99,9\%$ у

широких межах концентрацій (від декількох мг до 200 г/м³) і дисперсності часток (до доль мкм) і невисокою витраті електроенергії (близько 0,1 ... 0,5 кВт·год на 1000 м³ газів) [7]. Електрофільтр може знепилювати вологу і корозійноактивну газову середу з температурою до 500 °С. Продуктивність електрофільтрів досягає сотень тисяч м³/год газу, що очищається. До недоліків електрофільтрів відноситься їх висока чутливість до підтримання параметрів очистки, висока металоємність і великі габарити, а також висока вимогливість до рівня монтажу та обслуговування.

Застосування електрофільтрації має ряд обмежень. Електрофільтр не може бути використаний для уловлювання пилу, який має високий електричний опір. Не можна направляти в електрофільтри вибухонебезпечні газові викиди, в тому числі і такі, які можуть стати вибухонебезпечними в процесі обробки. Не слід використовувати електроочистку, якщо осадження зважених частинок може супроводжуватися електрохімічними реакціями з виходом токсичних продуктів і тим більше - додавати такі (наприклад, SO₃, NH₄ і ін.) [7], для інтенсифікації процесу електрофільтрації.

Осадження часток в електрофільтрах відбувається під дією кулонівських або електричних сил на частинки. Швидкість осадження збільшується одночасно із швидкістю міграції часток, яка повинна мати максимальне значення. Математичне моделювання процесу вловлювання залежать від характеру потоку газу. В умовах теплиць необхідну продуктивність можливо забезпечити ламінарним потоком. У такому випадку швидкість осадження можна визначити, використовуючи закони класичної механіки та електростатики:

$$F_e = q \cdot E - \text{закон Кулона електростатичної взаємодії}; \quad (1)$$

$$F_c = \frac{q \cdot E}{6 \cdot \pi \cdot \mu \cdot r_q} \left(1 + A \frac{\lambda}{r_q} \right) - \text{закон опору Стокса-Кенигема}. \quad (2)$$

де q – заряд частинки, Кл;

E – напруженість електричного поля, В/м;

μ – динамічний коефіцієнт в'язкості газу, Па·с;

r_q – радіус частинки, м;

λ – довжина середнього вільного пробігу молекул газу, у наближених розрахунках приймається $\lambda=10^{-7}$ м;

A – безрозмірний коефіцієнт, значення якого для атмосферного повітря дорівнює $\approx 0,86$ (у наближених розрахунках його значення коливається від 0,815 до 1,63).

При визначення швидкості дрейфу часток до осаджувального електроду припускають, що $F_e = F_c$. У свою чергу, дослідним шляхом було визначено, що у межах використання формули Стокса швидкість міграції визначається за формулами [7]:

- для часток діаметром ≥ 1 мкм

$$v_d = \frac{0,118 \cdot 10^{-10} \cdot E^2 \cdot r_c}{\mu}; \quad (3)$$

- для часток діаметром ≤ 1 мкм

$$v_d = \frac{0,17 \cdot 10^{-11} \cdot E}{\mu} \left(1 + A \frac{\lambda}{r_c} \right). \quad (4)$$

Важливішим фактором, який впливає на розміри електрофільтру, є час, необхідний для того, щоб частинка досягла осаджувального електроду. Цей час повинен бути завжди менше часу загального перебування у повітряному потоці, який проходить через електрофільтр. Зазначені часові інтервали при ламінарному потоці розраховуються за формулами класичної механіки, тобто умова нормальної роботи електрофільтру матиме вигляд

$$\frac{d}{v_d} \leq \frac{L}{v}, \quad (5)$$

- де d – відстань між електродами, що коронує та осаджує, м;
- L – відстань руху газу, що проходить електроди, м;
- v – середня витратна швидкість газу у фільтрі, м/с.

Ступінь очищення (%) може бути визначений за формулою [7]

$$\varepsilon = \left(1 - e^{-v_a \frac{F}{V_B}} \right) \cdot 100, \quad (6)$$

- де F – загальна площа осаджувальних електродів, м²;
- V_B – витрата газів, які очищуються, м³/с.

На практиці швидкість дрейфу менша за розрахункову у 1,5~2 рази. Тому необхідну площу (м²) активного перетину електрофільтру знаходять з урахуванням коефіцієнту запасу за формулою [7]

$$S = (1.5 \dots 2) \frac{V_B \cdot d}{3600 \cdot v_d \cdot L}. \quad (7)$$

Отже, у загальному випадку, на основі представлених рівнянь (5-7) можна сформулювати систему рівнянь (швидкість дрейфу (3, 4) визначається відповідно до розміру часток)

$$\begin{cases} \frac{d}{v_d} \leq \frac{L}{v} \\ S = (1.5...2) \frac{V_B \cdot d}{3600 \cdot v_d \cdot L} \\ \ln\left(1 - \frac{\varepsilon}{100}\right) = v_d \cdot \frac{F}{V_B} \end{cases} \quad (8)$$

Представлена система рівнянь дозволить за заданими техніко-технологічними показниками обґрунтувати вибір серійного фільтру, або спроектувати основні параметри нового. Додаткове очищення продуктів згоряння біологічної маси можливе за рахунок використання різних хімічних фільтрів. Одним з таких можна запропонувати мокровапняний спосіб. Цей спосіб очищення вуглекислого газу від сірчаних домішок заснований на інтенсивному промиванні димових газів в абсорбері, встановленому за високоефективним золоуловлювачем (електрофільтр), вапняковою суспензією з отриманням двохводного гіпсу [6]. Ця технологія є абсолютно безпечною, оскільки вапняк і гіпс – нейтральні малорозчинні речовини.

Висновок. Пропонований спосіб підігріву теплиці дозволяє підвищити ефективність опалювальної системи та забезпечити насичення простору теплиці вуглекислим газом, що повинно забезпечити підвищення загальної економічної ефективності. При автоматизації процесу спалювання стає можливим суттєво скоротити постійну часу об'єкту керування, що призведе до підвищення керованості об'єкту.

Література

1. Автоматизация и электрификация защищенного грунта [Под ред. Л.Г. Прищепя]. – М.: Колос, 1976. – 322 с.
2. Агаркова А.М. Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов при эксплуатации теплиц / А.М. Агаркова, Г.Г. Ивешко. - К.: Будівельник, 1985.-120с.
3. Корчемний М. Энергозбереження в агропромисловому комплексі / М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань. – Тернопіль: Підручники і посібники. – 2001. – 984 с.
4. Кудрявцев И.Ф. Электрический нагрев и электротехнология / И.Ф. Кудрявцев, В.А. Карасенко. – М.:Колос, 1975 – 384 с.

5. *Тигранян Р.Э.* Микроклимат. Электронные системы обеспечения / *Р.Э. Тигранян.* – М.: ИП РадиоСофт, 2005. – 112 с.
6. Экологические проблемы в теплоэнергетике [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://hizdis.ru/teploes/elektroseti53.htm>
7. *Ветошкин А.Г.* Процессы и аппараты пылеочистки. Учебное пособие / *А.Г. Ветошкин.* – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. - с. 210

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ МИКРОКЛИМАТА В ТЕПЛИЦЕ НА ОСНОВЕ ПРЯМОГО СЖИГАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ МАССЫ

В.Т. Диордиев , А.А. Кашкарёв

Аннотация - проанализированы технологии поддержания параметров микроклимата и основные факторы их колебания. Предложено прямое сжигание биологических материалов растительного происхождения в теплице на основе применения электрофильтра. Такая технология позволит повысить КПД использования топлива и обеспечивает насыщение очищенным углекислым газом объем теплицы.

CONTROL OF THE PARAMETERS OF THE MICROCLIMATE IN THE GREENHOUSE ON THE BASIS OF DIRECT BURNING BIOMASS

V. Diordiev, A. Kashkarov

Summary

Analyzed technologies maintain microclimate parameters and factors of their hesitation. Propose direct burning biological material of plant origin in the greenhouse on the basis of application of the electrostatic precipitator. This technology will enhance the fuel efficiency and provides enrichment of purified carbon dioxide greenhouse volume.

УДК 631.313

ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ ПРИВОДУ МАЛОГАБАРИТНОГО ГРУНТООБРОБНОГО МОТОБЛОКУ

Куценко Ю. М., д.т.н.,

Ковальов О. В., інж.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 423-159

Анотація – обґрунтовано структуру та розроблено схему керування електродвигуном приводу електрифікованого малогабаритного ґрунтообробного мотоблоку.

Ключові слова – електродвигун постійного струму, мотоблок, обробіток ґрунту.

Постановка проблеми. Останні досягнення в області створення напівпровідникових елементів відкривають широкі можливості для підвищення ефективності та надійності систем електроприводу. Відносна простота регулювання швидкості та підтримки тягового зусилля на заданому рівні визначило застосування в якості приводного електродвигуна постійного струму послідовного збудження. Отже, виникає необхідність розробки простої та надійної системи керування електродвигуном приводу малогабаритного ґрунтообробного мотоблоку з використанням сучасної елементної бази.

Аналіз останніх досліджень. На практиці зміна частоти обертання двигуна постійного струму виконується шляхом амплітудного (реостатні схеми) або імпульсного (тиристорні системи) керування напруги обмотки якоря. Силова схема імпульсного способу, представлена імпульсним тиристорним перетворювачем, має великі втрати в контурі комутації, спричинені необхідністю виконувати цикли заряду та перезаряду комутуючих конденсаторів та великих габаритів комутуючого контуру [1, 2, 3].

Формулювання цілей статті. Метою статті є обґрунтування структури та розробка системи керування електродвигуном постійного струму приводу малогабаритного ґрунтообробного мотоблоку з системою автоматичного керування на сучасній базі силових напівпровідникових елементів.

Основна частина. Класичною формою тягової характеристики є характеристика з трьома ділянками: жорсткою, м'якою та ділянкою постійної потужності [4]. Характеристика є так званою «тяговою областю», що обмежує можливі режими роботи приводу. Максимальне значення швидкості обмежують вимоги безпеки та технологічності роботи, а також обмеження по зчепленню з ґрунтом [5].

Електроприводу ґрунтообробного мотоблоку властиві часті перевантаження, що спостерігаються в режимах пуску, гальмування та за різкої зміни щільності ґрунту. Необхідність роботи електроприводу як в режимі двигуна, так і в гальмівних режимах, а також різкозмінний характер навантаження обумовлюють значні коливання потужності, що споживається електродвигуном.

З урахуванням особливостей роботи електродвигуна приводу мотоблоку розроблено функціональну схему системи керування, яка зображена на рис. 1. На вхід системи керування подається задаючий сигнал $U_{з.в}$. Він подається, наприклад, з движка потенціометра, але може подаватися із інших джерел (ЦАП цифрової системи та ін.). Напряга $U_{з.в}$ є сигналом задавання швидкості, причому вона може бути будь-якої полярності, залежно від напрямку обертання. Ця напряга зазвичай подається на задавач інтенсивності, що забезпечує темп зміни швидкості. У цій структурі необхідно обмежувати максимальне і мінімальне значення струму збудження. Це можливо зробити за рахунок схеми обмеження струму збудження. На вхід регулятора струму збудження через схему виділення максимуму, створену двома діодами, подаються сигнали:

- завдання струму збудження від окремого незалежного джерела;
- сигнал струму збудження з виходу регулятора попереднього контуру, що обмежений на рівні номінального значення.

Перевагою такої структури є можливість обмеження струму якоря.

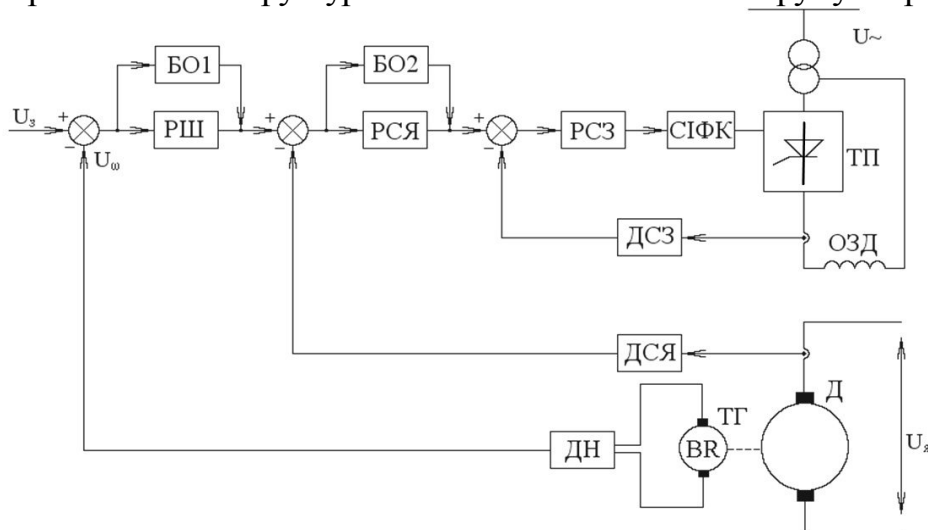


Рис. 1. Функціональна схема керування електродвигуном приводу мотоблоку.

Система керування приводним електродвигуном постійного струму (ДПС) мотоблоку з тиристорним перетворювачем представлена на рис. 2. Система працює за принципом вертикального керування з пилкоподібною опорною напругою. В якості генератора опорної напруги (ГОН) використовується генератор з зарядом ємності від джерела постійної напруги U_{II} і діодним комутатором з розширеним діапазоном. Напруга керування U_V знімається з виходу емітерного повторювача (ЕП). Опорна напруга $u_{оп}$ і напруга керування $U_{\dot{A}B}$ подаються на вхід нуль-органу (НО), виконаного на транзисторах $VT1$ та $VT2$. При $U_{II} < U_{\dot{A}B}$ транзистор $VT1$ відкритий внаслідок протікання струму через перехід емітер-база по ланцюгу $+U_K$, емітер-база, $R6$, $-U_K$. При відкритому транзисторі $VT1$ транзистор $VT2$ закритий за рахунок зсуву напруги, що подається на базу транзистора $VT2$ через резистор $R9$.

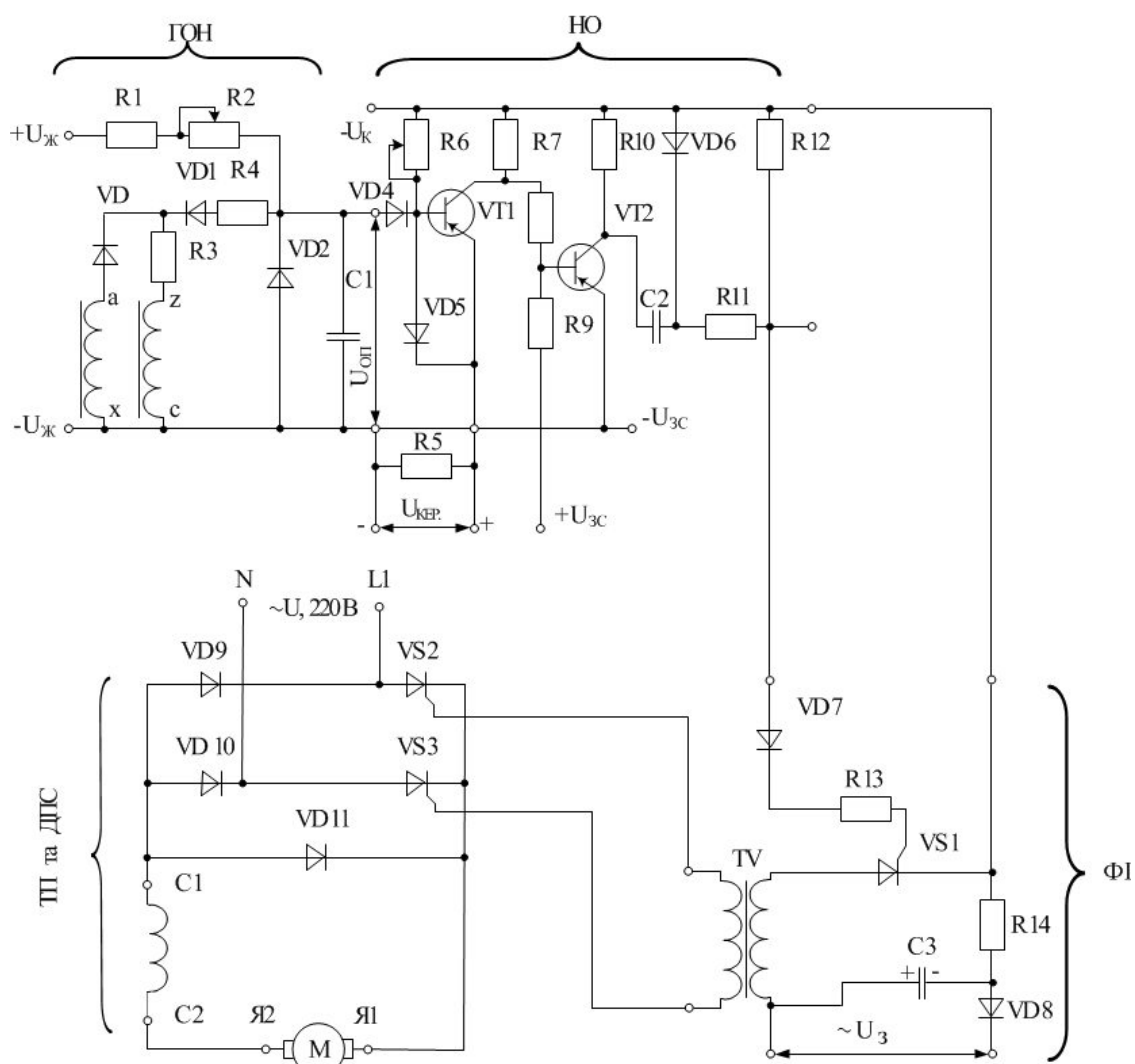


Рис. 2. Схема керування приводним ДПС мотоблоку з тиристорним перетворювачем.

Залежність вихідної напруги ЕП від напруги на його вході показана на рис. 3. Вхідна напруга $U_{\text{вх.ЕП}}$ є алгебраїчною сумою напруги зсуву $U'_{\text{ЗС}}$ і зовнішньої напруги керування $U'_{\text{КЕР}}$, тобто $U_{\text{вх.ЕП}} = U'_{\text{ЗС}} \pm U'_{\text{КЕР}}$. Напруга $U'_{\text{ЗС}}$ вибирається з умови отримання необхідного початкового фазування. Так, наприклад, можна отримати, що при $U'_{\text{КЕР}} = 0$ кут регулювання α дорівнюватиме 90° . Регулювання напруги $U'_{\text{ЗС}}$ дасть можливість плавно змінювати початкове фазування. Крім того, в системі керування передбачена можливість зміни початкової фази вихідних імпульсів ступенями через 30° фазуванням напруги трансформатора, що живить діодний комутатор.

Напруга керування $U'_{\text{КЕР}} = 0$ на вході ЕП відповідає напрузі $U_{\text{ЕП}0}$ (рис. 3). При подачі на вхід ЕП напруги керування $U'_{\text{КЕР}}$ з полярністю, згідною з $U'_{\text{ЗС}}$, напруга $U_{\text{ЕП}}$ зростає. У схемі ЕП передбачено обмеження максимального значення $U_{\text{ЕП}}$ на рівні $U_{\text{ЕПmax}}$. При подачі на вхід ЕП напруги керування $U'_{\text{КЕР}}$ зворотної полярності напруга $U_{\text{ЕП}}$ буде зменшуватися. При цьому передбачено також обмеження мінімальної напруги ЕП на рівні $U_{\text{ЕПmin}}$.

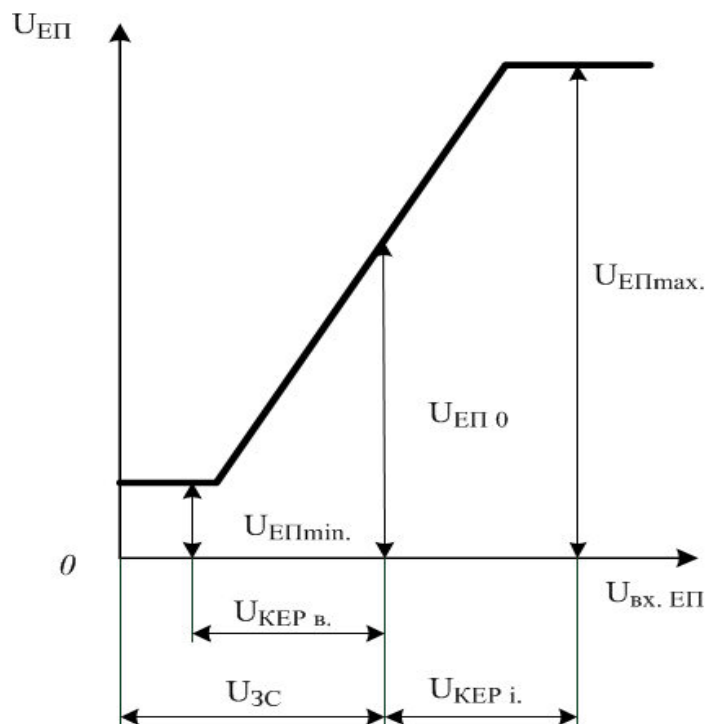


Рис. 3. Залежність напруги на виході ЕП від напруги на його вході.

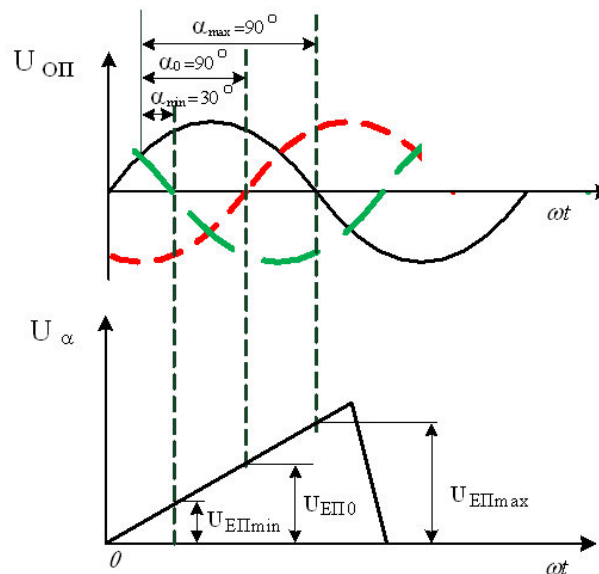


Рис. 4. Часові діаграми роботи системи імпульсно-фазового керування.

На рис. 4 показані часові діаграми, що ілюструють роботу СІФК. Тут наведено криву анодної напруги тиристора і криву опорної напруги. Керуючий імпульс формується в момент рівності напруг $U_{оп}$ і $U_{ЕП}$. При зазначеному фазуванні, якщо напруга $U'_{КЕР}$ на вході ЕП дорівнює нулю, вихідна напруга його і керуючий імпульс буде формуватися в момент часу, відповідному куту $\alpha_0 = 90^\circ$.

В емітерному повторювачі передбачена можливість зміни рівнів $U_{ЕПmax}$ і $U_{ЕПmin}$, що дозволяє змінювати максимальний кут в інвертному режимі α_{max} і мінімальний кут α_{min} у випрямляючому режимі. На рис. 4 розглянуто випадок, коли напруга на виході ЕП обмежується так, що кут α може змінюватися в межах $30^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$.

Імпульс напруги, що формується нуль-органом, знімається з резистора R_{12} (рис. 2) і подається на керуючий електрод допоміжного тиристора $VS1$ тиристорного формувача імпульсів ФІ (його називають генератором імпульсів). Вихідний імпульс знімається з вторинної обмотки імпульсного трансформатора TV і надходить на тиристорний перетворювач (ТП), який живить обмотки якоря та збудження ДПС приводу мотоблоку.

Висновки. Найбільш перспективним варіантом побудови силового електроприводу ґрунтообробного мотоблоку є використання системи імпульсно-фазового керування, представленої на рис. 2, яка забезпечує діапазон регулювання кута α до 120° , асиметрію не більше $1,5^\circ$, тривалість імпульсу не менше 450 мкс, амплітуду імпульсів 20 В і більше, а тривалість переднього фронту

імпульсу не більше 15 мкс. Коефіцієнт передачі СІФК становить $9^\circ/B$, тобто при зміні напруги керування на $1B$ кут змінюється на 9° .

Література

1 Терехов В. М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В. М. Терехов, О. И. Осипов. – М.: Академия, 2005. – 299 с.

2 Панкратов В. В. Вентильный электропривод : от стиральной машины до металлорежущего станка и электровоза / В. В. Панкратов // Электронные компоненты, 2007, № 2. – С. 42 – 53.

3 Вольдек А. И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы : учебник для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов. – СПб : Питер, 2008. – 320 с.

4. Ковальов О. В. Тягові характеристики та керування мотоблоком з електроприводом по максимуму ККД / О. В. Ковальов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2008, №30. – С. 509 – 510.

5. Куценко Ю. М. Розрахунок потужності та вибір тягового двигуна приводу мотоблока / Ю. М. Куценко, Г. Н. Назар'ян, О. В. Ковальов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2010. – Вип. 10, т. 8 : Моделювання технологічних процесів в АПК : матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – С. 228 – 238.

ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПРИВОДА МАЛОГАБАРИТНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО МОТОБЛОКА

Ю.Н. Куценко, А.В. Ковалев

Аннотация – в работе обоснована структура и разработана схема управления электроприводом электрифицированного малогабаритного почвообрабатывающего мотоблока.

SUBSTANTIATION ELECTRIC MOTOR DRIVE CONTROL SYSTEM COMPACT MOTOBLOCK OF TILLAGE

Y. Kutsenko, A. Kovalyov

Summary

Article is devoted to the justification of the structure and development of electric drive control circuits electrified compact motoblock of tillage.

УДК 662.63

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Куценко Ю.М., д.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 423-159

Анотація - проведено оцінку потенціалу виробництва біогазу, що базується на сировині тваринного і рослинного походження АПК Луганської області.

Ключові слова – біогаз, біосировина, тваринництво, птахівництво, агропромисловий комплекс.

Постановка проблеми. Постійне зростання цін на енергоносії – лише зовнішній прояв факторів, які об'єктивно існують і не зникають з переходом від однієї суспільно-політичної формації до іншої, оскільки мають більш глибокий і глобальний характер. Добре відомо, що нинішній рівень споживання енергії став розмірним із запасами органічного палива – базою сучасної енергетики [1].

Підвищення рівня енергонезалежності – це один з головних чинників, які направлені на підтримання стабільності та подальшого розвитку підприємств агропромислового комплексу. Для розвитку даного напрямку підприємствам слід проводити якісний енергетичний менеджмент, а також сприяти подальшому впровадженню енергоощадних технологій. В Україні зараз виникла дуже скрутна ситуація: по-перше, вартість енергоощаджувального обладнання є дуже високим, по-друге, на державному та регіональному рівнях даному питанню надають мало уваги, по-третє, дуже велика кількість підприємців не бажають інвестувати кошти у програми енергоощадження.

Одним із напрямів отримання додаткових доходів є реалізація біогазових установок в рамках проектів спільного впровадження згідно Кіотського протоколу і за рахунок продажу квот на викиди CO₂. Даний напрям є перспективним, оскільки згідно директиви про поновлювані джерела енергії (RED) 2009/28/ЕС учасниці ЕС до 2020 року повинні покрити принаймні 10 % кінцевого споживання енергії в транспортному секторі з поновлюваних джерел енергії. У результаті західноєвропейські компанії могли би фінансувати розбудову

інфраструктури в Україні, що може стати для України фундаментом на шляху до енергетичної незалежності [2].

Аналіз останніх досліджень. Диверсифікація постачання природного газу, загальне зменшення та заміщення його споживання шляхом впровадження комплексу заходів з енергоефективності та енергозбереження є важливими напрямками забезпечення енергонезалежності України. Важливим напрямком такого підходу є широке використання відновлювальних джерел енергії.

Відходи від роботи тваринницьких комплексів, які зберігаються на відкритому повітрі, містять значну кількість неперетравленої органіки. В анаеробних умовах така органіка розпадається з виділенням біогазу високої калорійності 20...23 МДж/куб. м. За даними центру «Держзовнішінформ», приблизний щорічний потенціал виробництва біогазу з відходів тваринництва становить понад 750 тис. тонн умовного палива [3,4]. В Україні за останні два роки виробництво електроенергії з відновлювальних джерел енергії збільшилось майже в 4 рази. Для збільшення виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії з 1 квітня 2013 року змінами до Закону «Про електроенергетику» введено «зелений» тариф на енергію, вироблену з біогазу [5,6].

Робота виконується з метою проведення інформаційно-аналітичного аналізу існуючих технологій з переробки біомаси, які підвищують не тільки енергоефективність підприємств АПК, але й значно покращують екологічний стан навколишнього середовища регіону в цілому. У роботі представлений детальний статистичний аналіз АПК Луганської області з метою визначення актуальності впровадження енергоощадних технологій з переробки біосировини.

Визначені основні напрями господарської діяльності регіону, розглянуті передові підприємства у сфері тваринництва, аналіз розвитку птахівництва і рослинництва.

Формулювання цілей статті. Оцінка потенціалу виробництва біогазу, що базується на сировині тваринного і рослинного походження за основними видами діяльності підприємств з метою визначення потужності установок для переробки біомаси.

Основна частина. Сільське господарство – пріоритетна галузь економіки, яка відіграє значну роль у соціально-економічному розвитку Луганської області. У ході реформування аграрного сектора за роки незалежності України створено більш ніж 550 великих аграрних формувань нового типу, понад 2 тис. фермерських господарств.

Основні напрями спеціалізації сільськогосподарського виробництва області – вирощування зернових і олійних культур,

м'ясо-молочне тваринництво. У тваринництві переважають молочно-м'ясне скотарство, птахівництво, вівчарство.

Сільськогосподарське виробництво Луганської області зосереджено в 19 адміністративно-територіальних одиницях, які відповідно до ґрунтового-кліматичних, економічних умов і спеціалізацією поділяються на 3 виробничі зони: північну, приміську, південну. У користуванні всіх категорій господарств знаходиться 2,3 млн. гектарів землі, у тому числі 1,3 млн. гектарів ріллі. При сприятливих погодних умовах забезпечується отримання понад 1 млн. тонн зерна на рік [7].

Реалізація конкурентних переваг аграрного сектора економіки, утвердження в ньому сучасних ринкових відносин створює необхідні передумови для ефективного вирішення продовольчої проблеми і розвитку інших галузей народного господарства регіону.

За даними Головного управління земельних ресурсів у Луганській області – загальна площа земель становить 2 668 368 га. Слід зазначити, що на основі аналізу розвитку рослинництва регіону можливо розробити ланку заходів, що до утилізації відходів галузі. До заходів слід віднести впровадження технологій щодо брикетування соломи, гранулювання шроту соняшника, качанів кукурудзи та інші заходи. Проаналізуємо вихідні дані збору врожаю с/г культур станом на 01.01.2014. Обсяг зернових та зернобобових культур становить 12929,5 тис. ц., урожайність з 1 га площі збирання становить 24,0 ц., цукрові буряки - 304,3ц., насіння соняшнику – 17,5ц., картопля – 125,1 ц., овочі – 195,7 ц. [7].

За даними головного управління економіки облдержадміністрації, протягом 2001...2013 років виробництво зерна на Луганщині зросло на 7,1% ц/га, тобто на 3302,2 тис. ц., соняшнику – до 4858,8 тис. ц. Крім цього, починаючи з 2007 року, завдяки реалізації регіональної програми розвитку молочного скотарства, у регіоні введено в дію чотири сучасних молочних комплекси. Серед них СТОВ "Зоря" Білокуракинського району, Деркульський молочний комплекс Біловодського району, АФ "Привілля" Троїцького району, ПП СВФ "Агро" Новопсковського району. На будівництво цих комплексів залучено близько 33,2 млн. грн. інвестицій, площа застосування мінімальних і нульових технологій обробки ґрунту в 2010 році досягла 262 тис. га (26% посівних площ), що дозволило заощадити 2,3 тис. тонн дизельного палива і 21,6 млн. грн.

Основна тенденція у галузі енергоощадних технологій на даний час – це розвиток біогазових установок, які можуть бути впроваджені у галузь переробки та тваринництва. Виконавши аналіз динаміки розвитку тваринництва регіону (рис. 1), слід зазначити, що не у кожному напрямку є рентабельним впроваджувати дані заходи. Варто

відзначити, що позитивну роль у стабілізації тваринництва на Луганщині грає регіональна програма розвитку молочного скотарства. За роки реалізації програми в галузь молочного скотарства залучено, крім власних коштів, 25,7 млн. грн. кредитних ресурсів, а також освоєно 8,7 млн. грн. коштів обласного бюджету.

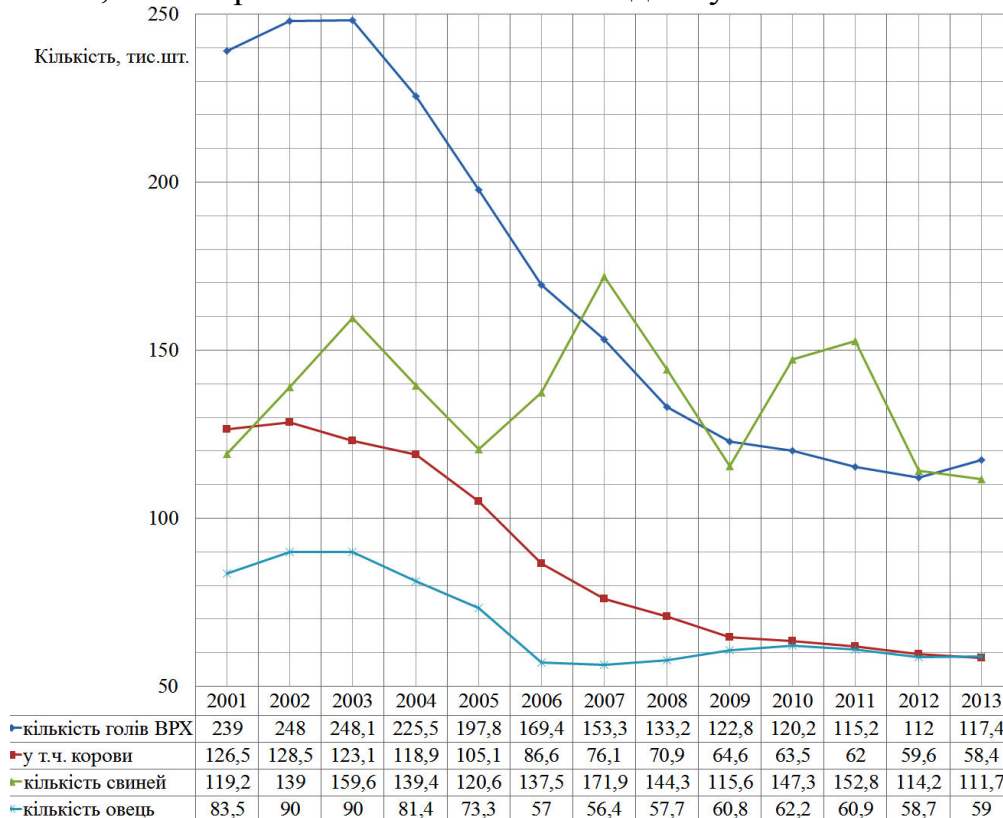


Рис. 1. Динаміка розвитку тваринництва регіону.

За цей період введені в експлуатацію 4 сучасних молочнотоварних комплексу (у Біловодському, Білокуракинському, Новопсковському та Троїцькому районах), оснащених високопродуктивним імпортним обладнанням, з повною автоматизацією процесів. Це дає можливість отримувати молоко вищої якості, поліпшувати умови праці і знижувати собівартість виробленої продукції. Проведено реконструкцію 12 молочнотоварних ферм, придбано 15 одиниць кормозаготівельної і кормозбиральної техніки, закуплено обладнання для доїльного залу УНПАК "Колос" Луганського національного аграрного університету.

Ще одним пріоритетним напрямком розвитку АПК Луганської області – є птахівництво. Завдяки вмiлим діям власників та підтримці галузі з боку держави на усіх рівнях, насамперед регіональному, галузь є прибутковою, підприємства постійно підвищують поголів'я птиці. До крупних підприємств даної галузі відносяться такі підприємства: ВАТ "Семейкінське" та "Краснодонська птахофабрика"

Краснодонського району, ВАТ "Лисичанська птахофабрика" та ВАТ птахогосподарство "Червоний Прапор" Перевальського району.

Відповідно до статистичних даних станом на 01.01.2014 загальна кількість птиці складає 5790,2 тис. голів, у % до відповідної дати попереднього року – 98,9. По регіону передовими є Перевальський район – кількість голів складає близько 2400 тис., Краснодонський - 1000 тис., Лутугінський - 650 тис. Слід зазначити, що підприємства мають на балансі свиноферми та ферми ВРХ. Як приклад, слід привести вищезазначене ВАТ птахогосподарство "Червоний Прапор", яке станом на 01.01.2014 має у своєму підпорядкуванні близько 850 тис. гол. птиці, у т.ч. біля 600 тис. гол. курей-несучок та біля 900 голів свиней [7].

Розглянувши динаміку, слід зазначити, що підприємства, в яких переважає доля птахівництва розвиваються значними темпами. Станом на 01.01.2014 кількість поголів'я птиці зросла на 141,7 % у порівнянні з 01.01.2001 роком. Обсяг валової продукції тваринництва за 2013 р. в порівнянні з 2001 р. по всіх категоріях господарств збільшився в середньому на 6%. На сільськогосподарських підприємствах відбулось зменшення продукції на 4,1%, а в приватних господарствах обсяг зріс на 16,5%. Частка поголів'я в господарствах населення в загальному поголів'я станом на 1 січня 2014 року становить: великої рогатої худоби – 62,1%, у тому числі корів – 40,0%, свиней – 39%, овець і кіз – 21%.

За підсумками 2013 року в Луганській області виробництво основних видів продукції тваринництва складає: м'яса – 46,3 тис. т, молока – 281,0 тис. т., яєць – 838,8 млн. шт.

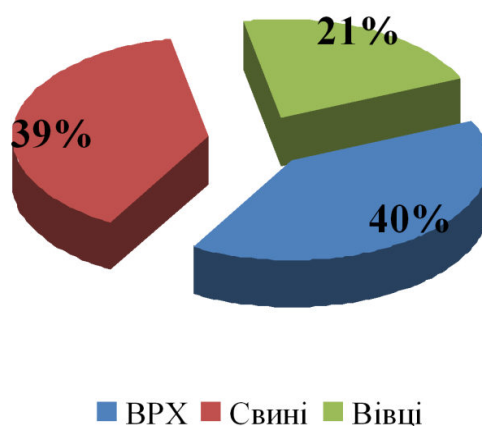


Рис. 2. Структурний аналіз поголів'я тварин.

Структурний аналіз поголів'я свійських тварин, (рис. 2), свідчить, що свинарство займає 39,0 %, ВРХ – 40%, вівці – 21%. При розгляді обсягу гною і потенційного одержання біогазу, його частка знижується до 7,5...8%. Слід також ураховувати, що фактично

свинячий гній при видаленні з приміщень має стоки, які найбільше забруднюють навколишнє середовище і потребують, насамперед, енергозберігаючі технології анаеробного зброджування біомаси.

Головним джерелом виробництва біогазу може бути гній та тваринницькі стоки з ферм ВРХ, що становлять 40,0%, при цьому частка потенційної енергії з гною поголів'я сягає 45%. Ще одним джерелом енергії є відходи вівчарства – 21,0 %.

На підставі статистичної обробки даних діяльності підприємств АПК Луганської області отримано рівняння регресії розвитку поголів'я ВРХ

$$y = 0,2832x^3 - 5,1919x^2 + 10,548x + 242,22$$

Кореляційно-регресивний аналіз показує достатньо високе значення зв'язку коефіцієнта розвитку поголів'я ВРХ від кормової бази. Числове значення коефіцієнта кореляції складає $R^2 = 0,9815$. Використовуючи дані [5] із загального обсягу відходів на одну голову ВРХ 1,1 т., при умові продуктивності виробництва біогазу - $257,7\text{м}^3/\text{рік}$, є можливість з достатньою вірогідністю прогнозувати потенціал виробництва біогазу для фермерських господарств і в цілому по регіону (рис. 3,4).

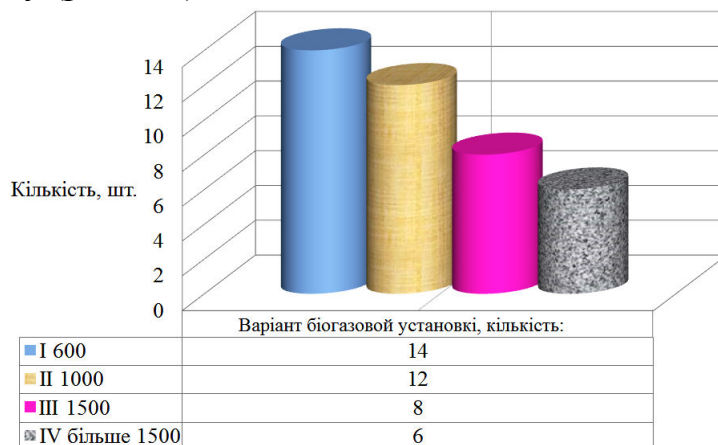


Рис. 3. Загальна кількість БГУ для господарств з кількістю свиней більше 500 голів.

Загальна кількість голів станом на 01.01.2014 з 128 підприємств, які займаються вирощуванням свиней становить близько 78000 тварин. На підставі аналізу можна зробити висновок, що найвигіднішим є впровадження чотирьох типів біогазових установок (БГУ). Перший - для підприємств з кількістю тварин у межах 600 голів, другий - 1000, третій - 1500, та четвертий понад 1500 голів свиней. Є місце для використання комплексних установок декількох БГУ. Наприклад, ПП «Агро», відділення Варварівка Краснодонського району, має поголів'я 1713 голів, відповідно з урахуванням

подальшого розвитку є місце установці двох установок I-го та II-го типів.

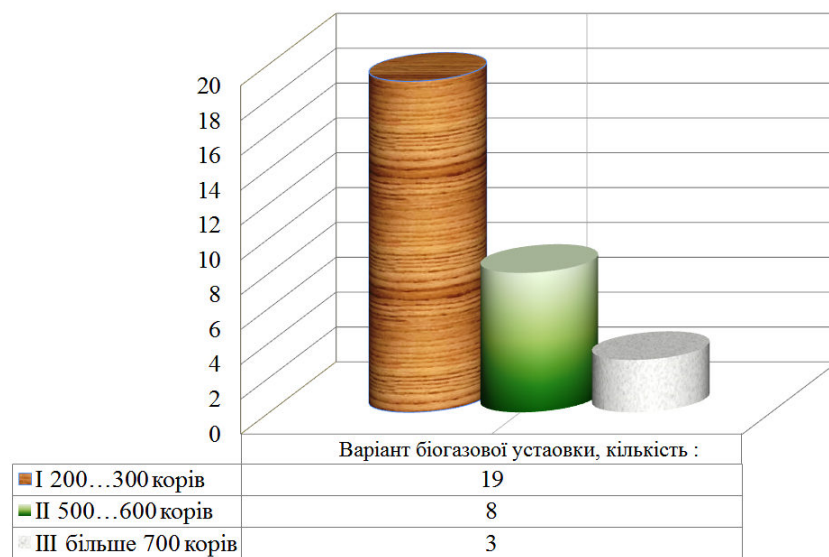


Рис. 4. Загальна кількість БГУ для господарств з кількістю ВРХ більше ніж 200 голів.

Слід зазначити, що БГУ з невеликим об'ємом реакторів (до 25 м^3) мають негативний енергетичний баланс. Тільки установки з об'ємом метантенка (реактора) 100 м^3 [4] і більше, з витриманою технологією дають значний енергетичний ефект. Важливою умовою для сприятливого протікання процесу є сталість температури на вибраному рівні, так як будь-які відхилення зменшують метаболічну і репродуктивну активність мікроорганізмів.

Висновок. Основним джерелом виробництва біогазу для сільськогосподарських підприємств є гній та тваринницькі стоки з ферм ВРХ, що становлять 40,0 %, при цьому частка потенційної енергії з гною поголів'я сягає 45 %. Найбільш раціональним є впровадження трьох типів біогазових установок: перший - для підприємств з кількістю тварин у межах 330 голів ВРХ, другий - 600, третій – більше 700, а також БГУ - при кількості свиней понад 1500 голів.

На підставі статистичної обробки даних діяльності підприємств АПК Луганської області отримано рівняння регресії розвитку поголів'я ВРХ

$$y = 0,2832x^3 - 5,1919x^2 + 10,548x + 242,22$$

Кореляційно-регресивний аналіз показує достатньо високе значення зв'язку коефіцієнта розвитку поголів'я ВРХ від стану кормової бази. Числове значення коефіцієнта кореляції складає $R^2 = 0,9815$.

Література

1. *Кюрчев В. М.* Альтернативне паливо для енергетики АПК : посібн. / *В. М. Кюрчев, В. А. Дідур, Л. І. Грачова* ; за ред. В. А. Дідура. – К.: Аграрна освіта, 2012. – 416 с.
2. *Показники розвитку альтернативної енергетики в Україні за I квартал 2013 року* [Електронний ресурс] : – Режим доступу <http://www.biowatt.com.ua/analitika/pokazniki-rozvitku-alternativnoyi-energetiki>.
3. *Кузнецова А.* Біогаз та «зелені тарифи» в Україні – чи є вигідне інвестування? / *А. Кузнецова, К. Куценко*. – К.: Інститут економічних досліджень та політичних консультацій, 2010. – 40 с.
4. *Виробництво і використання біогазу в Україні.* / *Р. Шульц* [та інш.]. – К.: Бізнесцентр «Євразія», 2012. – 74 с.
5. *Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні.* / *Г. Г. Гелетуха, П. П. Кучерук, Ю. Б. Матвеев*. – [Електронний ресурс] : – Режим доступу <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-4-ua.pdf>.
6. *Стан та перспективи виробництва біогазу в Україні.* – [Електронний ресурс] : – Режим доступу <http://www.uabio.org/img/files/news/pdf/min-agro.pdf>.
7. *Головне управління статистики у Луганській області.* – [Електронний ресурс] : – Режим доступу <http://www.lg.ukrstat.gov.ua/sinf/shoz/rshoz.php>.

ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Ю.Н. Куценко

Аннотация - проведена оценка потенциала производства биогаза на базе сырья животного и растительного происхождения АПК Луганской области.

SUBSTANTIATION OF BIOGAS PRODUCTION IN THE AGRICULTURAL ENTERPRISES

Yu. Kushenko

Summary

Evaluated the potential of biogas production based on raw materials of animal and vegetable origin agribusiness Lugansk region.

УДК 338.242 : 664.72

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ФОНУ У ЗАМКНЕНОМУ ПРОСТОРИ СТИМУЛЯТОРІВ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ

Діордієв В. Т., д.т.н.,

Кашкар'єв А. О., к.т.н.,

Новіков Г. В., інж.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: 0619-42-57-97

Анотація – проаналізовані методи моделювання електромагнітного фону у замкненому просторі, запропонований променевий метод для визначення просторового розподілу потужності у камерах для передпосівної обробки зернових, що у подальшому дозволить обґрунтувати положення магнетронів.

Ключові слова – магнетрон, розташування, електромагнітний фон, електромагнітне випромінювання, передпосівна обробка, НВЧ.

Постановка проблеми. Останнім часом, у зв'язку із доступністю магнетронів, набувають все більшого розповсюдження передпосівного обробітку насінневого матеріалу електромагнітними хвилями (ЕМХ) надвисокої частоти. Доступність технологічного обладнання для виконання такої обробки призводить до не обґрунтованого вибору місця розташування та способу монтажу хвильоводів. Складні форми камер обробки, різні матеріали камери та сам об'єкт утворює складну середу для розповсюдження ЕМХ. Основним ефектом, який спостерігається при розгляді ЕМХ у замкненому просторі, є багатопроменістість, що обумовлено багатократним відбиттям хвиль від стін та інших об'єктів, дифракція на гострих кромках технологічного обладнання та розсіювання [1]. Ці ефекти утворюють складну інтерференційну структуру електромагнітного поля, яке може суттєво змінюватись при переміщенні об'єкту опромінення. Саме тому математичне моделювання електромагнітного фону набуває актуальності.

Аналіз останніх досліджень. На сьогоднішній день, запропоновані моделі розповсюдження сигналів у будівлях можна умовно поділити на такі групи: статистичні, емпіричні, променеві та

числові. Статистичні методи не потребують повної інформації про структуру та вид обмеженого простору, окрім загального опису [1]. Такий спосіб підходить при статичному розташуванні монолітного об'єкту.

Емпіричні одно- та багатопроменисті моделі базуються на аналізі одного або кількох променів, які з'єднують генератор та приймач, для оцінки рівня опроміненості [2]. Моделі даного типу отримані шляхом узагальнення великого об'єму результатів вимірювань потужності на об'єкті у різних умовах. Застосувати такий підхід в умовах сільського господарства дуже складно, оскільки вимагає унікального підходу до конструкції камер обробки зернових.

У променистих моделях використовуються квазіоптичне представлення процесів розповсюдження сигналів та враховуються відбиття від стін обмеженого простору та дифракція на межах завад [3]. Моделі даного типу базуються на наближеннях геометричної оптики, у рамках якого можливо максимально точно відобразити інформацію про план обмеженого простору. При використанні таких моделей визначаються усі можливі шляхи опромінення об'єкту. Моделювання багато променевого характеру розповсюдження дозволяють отримати інформацію про дрібно-масштабну структуру електромагнітного поля, обумовлену інтерференцією хвиль, які попадають на насіннєвий матеріал різними шляхами. Розроблені моделі, які дозволяють врахувати дифракцію хвиль на різних об'єктах у рамках геометричної теорії дифракції. Як правило кількість врахованих ітерацій (відбиття, завад) залежить від потужності комп'ютера. Більшість моделей мають обмеження у шість ітерацій, враховуючи не більше двох завад. Дифракційні втрати сигналу вздовж кожного шляху розраховуються з використанням геометричної теорії дифракції, а коефіцієнти відбиття – за допомогою формул Френеля [4]. Основним недоліком променистих моделей є їх чутливість до точності вхідних даних [2]. У випадках, коли не точно вказані дані про межі робочої камери або їх місце розташування [4], результати розрахунку суттєво погіршуються.

Найбільш точними є числові моделі, засновані на різних методах рішення рівняння Максвелла у диференційній або інтегральній формах [5]. Однак, високі розрахункові потужності цих методів призводить до їх рідкого використання на практиці. Ці методи в основному використовуються для моделювання у малих просторах – визначення коефіцієнтів проникнення/відбиття крізь об'єкти з невизначеною структурою. Збільшення розрахункових потужностей та оптимізація алгоритмів роботи методів у майбутньому дозволять застосовувати тримірні методи численного методу рішення рівнянь Максвелла для практичних розрахунків [1].

Мета статті. Розробка математичної моделі просторового розподілу потужності електромагнітного випромінювання, яка дозволить проаналізувати електромагнітний фон та обґрунтувати місце розташування джерела випромінювання.

Основні матеріали дослідження. Для розрахунку структури електромагнітного поля у замкненому просторі (при виконання умов $k \cdot L \gg 1$, де $k = 2 \cdot \pi / \lambda$, λ - довжина хвилі; L - характерний розмір простору) зазвичай використовують наближення геометричної оптики або наближення променів [1]. При використанні магнетронів промислової частоти $f = 2450$ МГц довжина хвилі складатиме $\lambda = 0,1212$ м. Тоді умова використання наближень геометричної оптики матиме вигляд $52 \cdot L \gg 1$. При середній довжині камер передпосівного обробітку зернового матеріалу 0,4 м, ця умова буде виконуватись з достатнім ступенем точності, що дозволить використати одну з модифікацій метода променів – метод уявних джерел.

Розглянемо алгоритм розрахунку електромагнітних полів заданого джерела у замкненому просторі, обмеженого шістьма плоскими поверхнями у декартовій системі координат (x, y, z) . Простір має форму паралелепіпеду обмеженого наступними площинами: $x=0$, $x=L_x$, $y=0$, $y=L_y$ (бокові грані), $z=L_z$ (верхня грань), $z=0$ (нижня грань).

Електричні властивості різних ділянок поверхонь, які характеризуються значеннями відносної діелектричної проникності ϵ та питомою провідністю σ , можуть суттєво відрізнитись. Тому виникає задача визначення координат точки відбиття від поверхні, кутів падіння та відбиття, розрахунок коефіцієнтів відбиття ТЕ- та ТМ-хвиль від відповідної ділянки. Визначимо координати точки відбиття хвилі від нижньої горизонтально поверхні $z=0$ [1]. Припустимо, що координати джерела (x_0, y_0, z_0) та точки спостереження (x, y, z) задані (рис. 1).

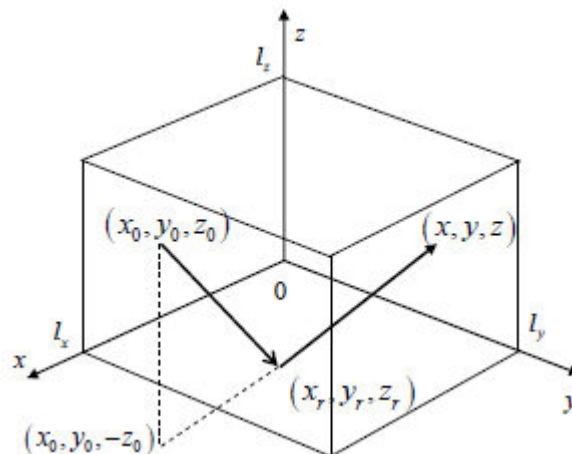


Рис. 1. Схематичне відображення координат джерела та точки відбиття хвилі у просторі

Відбиту хвилю представимо як хвилю, що випромінюється уявним джерелом, розташованим у деякій точці з координатами $(x_0, y_0, -z_0)$. Координати точки відбиття $(x_r, y_r, z_r=0)$ визначаємо з умови перетину відрізка прямої, який з'єднує уявне джерело із точкою спостереження, за рівнянням прямої

$$\frac{x_r - x_0}{x - x_0} = \frac{y_r - y_0}{y - y_0} = \frac{z_0}{z + z_0} \quad (1)$$

визначаємо координати точки відбиття

$$\begin{aligned} x_{r1} &= x_0 + \frac{z_0}{z + z_0}(x - x_0), \\ y_{r1} &= y_0 + \frac{z_0}{z + z_0}(y - y_0), \\ z_{r1} &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Визначимо направляючі косинуси відбитого променя:

$$\cos \alpha_{r1} = \frac{x_{r1} - x_0}{r_1}, \quad \cos \beta_{r1} = \frac{y_{r1} - y_0}{r_1}, \quad \cos \gamma_{r1} = \frac{z_0}{r_1}. \quad (3)$$

де r_1 – відстань від уявного джерела до точки спостереження.

$$r_1 = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}. \quad (4)$$

Аналогічним чином можуть бути знайдені координати точок відбиття та направляючі косинуси променів однократно відбитих від інших поверхонь. Таким чином, якщо обмежитись врахуванням тільки однократно відбитих хвиль, то поле у точці спостереження буде складати суму прямої хвилі та п'яти хвиль після однократного відбиття від різних поверхонь.

Розглянемо хвилі двократно відбиті від різних поверхонь. У якості прикладу розглянемо промінь, відбитий від поверхні $y=0$ та $z=0$. Геометрія променів у проекції на площину (y, z) показана на рисунку 2.

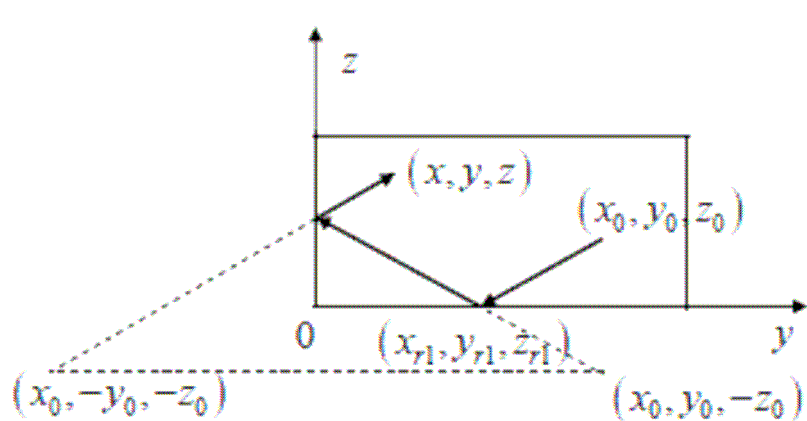


Рис. 2. Схематичне зображення координат точок двократного відбиття хвиль.

З приведенного рисунку видно, що промінь, відбитий від поверхні $z=0$, можна розглядати як промінь з уявним джерелом, розташованим у точці $(x_0, y_0, -z_0)$. Відбитий від площини $y=0$ промінь може розглядатись як промінь з уявного джерела у точці $(x_0, -y_0, -z_0)$.

Визначимо координати точок відбиття на площинах $y=0$ та $z=0$. Координати точки відбиття від площини $y=0$ визначаються з рівняння

$$\frac{x_{r13}^{(2)} - x_0}{x - x_0} = \frac{y_0}{y + y_0} = \frac{z_{r13}^{(2)} + z_0}{z + z_0}, \quad (5)$$

з якого знаходимо

$$\begin{aligned} x_{r13}^{(2)} &= x_0 + \frac{y_0}{y + y_0}(x - x_0), \\ y_{r13}^{(2)} &= 0, \\ z_{r13}^{(2)} &= z_0 + \frac{y_0}{y + y_0}(z - z_0). \end{aligned} \quad (6)$$

Координати точки відбиття від площини $z=0$ визначаються з

$$\frac{x_{r13}^{(2)} - x_0}{x_{r13}^{(1)} - x_0} = \frac{y_{r13}^{(2)} - y_0}{y_{r13}^{(1)} - y_0} = \frac{z_0}{z_{r13}^{(1)} + z_0}, \quad (7)$$

з якого знаходимо

$$\begin{aligned} x_{r13}^{(1)} &= x_0 + \frac{z_0}{z + z_0}(x_{r13}^{(2)} - x_0), \\ y_{r13}^{(1)} &= y_0 + \frac{z_0}{z + z_0}(y_{r13}^{(2)} - y_0), \\ z_{r13}^{(1)} &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

У формулах нижній індекс координати точки відбиття вказує на номер поверхні, від якої відбувається відбиття, а верхній індекс (у дужках) відповідає порядковому номеру відбиття. Аналогічно обчислюються координати точок відбиття від інших поверхонь.

Вектор напруженості електричного поля \vec{E} сферичної монохроматичної хвилі можна представити у вигляді

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \frac{r_0}{r} e^{i(kr - \omega t)} \quad (9)$$

де \vec{E}_0 - значення напруженості на відстані $r=r_0$ від джерела;

$k=2\pi/\lambda$ - хвильове число;

λ - довжина хвилі;

ω - кругова частота;

t - час.

Внесемо вектор поляризації хвилі \vec{a} з співвідношення

$$\vec{E}_0 = A \cdot \vec{a}, \quad (10)$$

де A – амплітуда хвилі.

При падінні хвилі на плоску межу розділу двох середовищ відбувається відбиття від межі та проходження через неї. Коефіцієнти відбиття та проходження залежать від поляризації хвилі, яка спадає. Якщо джерело віддалено від стіни на відстань, яка перевищує довжину хвилі, точніше виконується нерівність $k \cdot r \gg 1$, кривизною фазового фронту біля межі розділу можна знехтувати. При цьому для обчислення коефіцієнтів відбиття та проходження сферичної хвилі можна використовувати формули Френеля для плоскої хвилі. Це дозволяє розглянути плоскі хвилі від на півпростору, електричні властивості якого характеризуються комплексною діелектричною проникністю

$$\varepsilon' = \varepsilon + i \frac{\sigma}{\omega \cdot \varepsilon_0}, \quad (11)$$

де ε - відносна діелектрична проникність середовища, яке заповнює напівпростір;

σ - питома електрична провідність;

ε_0 – електрична проникність вакууму.

Значення коефіцієнтів відбиття плоских хвиль ТЕ- та ТМ-поляризацій, спадаючих на межу розділу двох середовищ під кутом ϑ , визначаються наступними відомими співвідношеннями:

$$R_{\parallel} = \frac{\varepsilon' \cos \vartheta - \sqrt{\varepsilon' - \sin^2 \vartheta}}{\varepsilon' \cos \vartheta + \sqrt{\varepsilon' - \sin^2 \vartheta}}, \quad \text{для ТМ - хвиль}; \quad (12)$$

$$R_{\perp} = \frac{\cos \vartheta - \sqrt{\varepsilon' - \sin^2 \vartheta}}{\cos \vartheta + \sqrt{\varepsilon' - \sin^2 \vartheta}}, \quad \text{для ТЕ - хвиль}.$$

Для обчислення поля відбитої хвилі поле спадаючої зручно представити у вигляді суми ТЕ- та ТМ-хвиль. Хвил ТЕ-поляризації має відмінну від нуля компоненту вектора напруженості електричного поля, перпендикулярну площі спадання. Направлення цієї компоненти визначається одиничним вектором \vec{a}_{\perp}

$$\vec{a}_{\perp} = [\vec{k}_i, \vec{n}], \quad (13)$$

де \vec{k}_i - хвильовий вектор спадаючої хвилі;

\vec{n} - вектор нормалі до межі розділу (рис. 3).

Таким чином, поле спадаючої хвилі приймає вигляд

$$\vec{E}_i = \vec{E}_{i\perp} + \vec{E}_{i\parallel}, \quad (14)$$

де

$$\vec{E}_{i\perp} = (\vec{E}_{i\perp} \vec{a}_{\perp}) \vec{a}_{\perp}, \quad \text{тоді} \quad \vec{E}_{r\parallel} = \vec{E} - (\vec{E}_{i\perp} \vec{a}_{\perp}) \vec{a}_{\perp}. \quad (15)$$

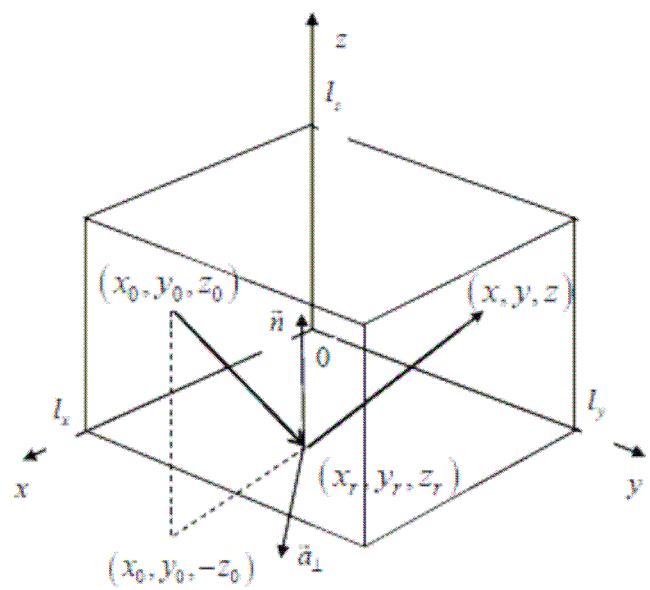


Рис. 3. Схематичне відображення векторів поля спадаючої та відбитої хвиль

В якості прикладу розглянемо обчислення вектора \vec{a}_{\perp} при відбитті хвилі від нижньої грані. У цьому випадку вектор нормалі має $\vec{n} = (0, 0, 1)$. Якщо проекція хвильового вектора спадаючої хвилі на вісі декартової системи координат (x, y, z) дорівнюють відповідно (k_x, k_y, k_z) , то

$$\vec{a}_{1\perp} = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ k_x & k_y & k_z \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \frac{k_y \cdot \vec{e}_x - k_x \cdot \vec{e}_y}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}}. \quad (16)$$

Аналогічно можна обчислити вектори \vec{a}_{\perp} для відбиття від верхньої та вертикальних граней.

$$\begin{aligned} \vec{a}_{2\perp} &= \frac{k_x \cdot \vec{e}_y - k_y \cdot \vec{e}_x}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}}, & \vec{a}_{3\perp} &= \frac{k_x \cdot \vec{e}_z - k_z \cdot \vec{e}_x}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}}, \\ \vec{a}_{4\perp} &= \frac{k_z \cdot \vec{e}_y - k_y \cdot \vec{e}_z}{\sqrt{k_y^2 + k_z^2}}, & \vec{a}_{5\perp} &= \frac{k_z \cdot \vec{e}_x - k_x \cdot \vec{e}_z}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}}, \\ \vec{a}_{6\perp} &= \frac{k_y \cdot \vec{e}_z - k_x \cdot \vec{e}_z}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}}. \end{aligned} \quad (17)$$

Поле відбитої хвилі з урахуванням приведених раніше співвідношень матиме вид

$$\vec{E}_r = \vec{E}_{r\perp} + \vec{E}_{r\parallel}, \quad (18)$$

де

$$\vec{E}_{r\perp} = R_{\perp}(\vec{E}_{i\perp}\vec{a}_{\perp})\vec{a}_{\perp}, \quad \text{тоді} \quad \vec{E}_{r\parallel} = R_{\parallel}[\vec{E}_i - (\vec{E}_{i\perp}\vec{a}_{\perp})\vec{a}_{\perp}]. \quad (19)$$

Остаточно отримаємо наступний вираз для поля відбитої хвилі, відбитої від стін камери обробки.

$$\vec{E}_r = R_{\parallel}\vec{E}_i + (R_{\perp} - R_{\parallel})(\vec{E}_i\vec{a}_{\perp})\vec{a}_{\perp}. \quad (20)$$

Отримана формула дозволяє розрахувати амплітуду і фазу хвилі, відбитої від вертикальних та горизонтальних поверхонь, з урахуванням поляризації. Необхідно зазначити, що задача оптимізації розташування джерел електромагнітних хвиль надвисокої частоти є задачею оптимізації за такими умовами

$$\left\{ \begin{array}{l} f(E) \rightarrow \max \in [(x_m - \Delta m_x, y_m - \Delta m_y, z_m - \Delta m_z) \cup (x_m + \Delta m_x, y_m + \Delta m_y, z_m + \Delta m_z)] \\ \left[(x_d^{(i)} - \Delta x, y_d^{(i)} - \Delta y, z_d^{(i)} - \Delta z) \cup (x_d^{(i)} + \Delta x, y_d^{(i)} + \Delta y, z_d^{(i)} + \Delta z) \right] \cap (x_0^{(j)}, y_0^{(j)}, z_0^{(j)}), \\ i, j \in N. \end{array} \right. \quad (21)$$

де x_m, y_m, z_m – координати геометричного центру потоку матеріалу;

x_d, y_d, z_d – координати геометричного центру хвильоводів джерела опромінення;

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – геометричний розмір хвильоводів джерела опромінення;

$\Delta m_x, \Delta m_y, \Delta m_z$ – геометричний розмір потоку матеріалу;

i – порядковий номер відбиття;

j – кількість джерел електромагнітного опромінення.

Висновки. На основі методу уявних джерел розроблена математична модель електромагнітного фону у замкненому просторі стимуляторів зернових. Модель дозволяє визначити просторовий розподіл потужності електромагнітного випромінювання. Запропонована цільова функція оптимального вибору положення джерел електромагнітної енергії надвисокої частоти, яка враховує її максимальне значення потужності поля на потоці або зосередженні матеріалу, а також умову мінімізації потрапляння відбитих хвиль на точку джерела випромінювань.

Література

1. Катин С.В. Математическая модель электромагнитной обстановки внутри ограниченного пространства / С.В. Катин, Е.А. Шорохова, В.А. Яшинов // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2013, № 1(98). – С. 18-27.

2. Motley A.J. Radio Coverage in building / A.J. Motley, J.M. Keenan // Bell System Technical Journal. – 1990. – Vol.8. – P. 19-24.

3. *Pariofi P.* Fast Field Prediction Techniques for indoor Communication Systems / *P. Parciofi, A. Potina, P. Passerini, S. Salviatti* // The 2nd European Personal and Mobile Communications Conference (EPMCC). Bonn, 1997. – P. 37-42

4. *Gibson T.B.* Prediction and Measurement of Wall Insertion Loss / *T.B. Gibson, D.P. Jenn* // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1999. – Vol. 47. – P/ 55-57.

5. *Talbi L.* Finite difference time domain characterization of indoor radio propagation / *L. Talbi, G.Y. Dalisle* // PIER. – 1996. - № 12. – P. 251-275.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ФОНА В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ СТИМУЛЯТОРОВ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

В.Т. Диордиев, А.А. Кашкарёв, Г.В. Новиков

Аннотация - проанализированы методы моделирования электромагнитного фона в замкнутом пространстве, предложенный лучевой метод для определения пространственного распределения мощности в камерах для предпосевной обработки зерновых, что в дальнейшем позволит обосновать положение магнетронов.

MATHEMATICAL MODELING ELECTROMAGNETIC BACK- GROUND IN A CONFINED SPACE OF STIMULANTS GRAIN MATERIAL

V. Diordiev, A. Kashkarov, G. Novikov

Summary

The analysis methods for modeling electromagnetic background in a confined space. proposed ray method for determining the spatial distribution of the cells for processing cereal before planting, which will justify the position of the magnetrons.

УДК 621.31:628.973.1

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Овчаров В. В., д.т.н.,

Овчаров С. В., к.т.н.

Стребков А. А., асп.*

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел.: (0619)42-32-63

Аннотация – исследованы возможные пути электроснабжения жилых домов, а также электромеханические переходные процессы в электродвигателях бытовой техники при пониженном уровне напряжения на зажимах потребителя.

Ключевые слова – преобразователи солнечной энергии, преобразователи ветровой энергии, уровень напряжения на зажимах потребителя, пусковой переходный процесс, момент инерции, время пуска.

Постановка проблемы. В наше время перед потребителями электрической энергии все чаще возникает проблема ее экономии. Для этого чаще всего применяются альтернативные источники энергии либо используются многоставочные тарифы на электроэнергию, потребляемую от существующих электрических сетей.

Сегодня также из-за большой протяженности электрических сетей напряжением 380/220В, роста нагрузок бытовых потребителей, отсутствия средств на реконструкцию линий электроснабжения возникает проблема улучшения уровня питающего напряжения потребителей.

Поэтому обеспечение электрической энергией жилых домов, а также её соответствующего качества является актуальной проблемой.

Анализ последних достижений. Решению указанной проблемы посвящено ряд статей [1,2]. Однако проблема остается до конца не решенной.

Формулировка целей статьи. Поэтому целью статьи является исследование возможных путей обеспечения электрической энергией

© Овчаров В. В., Овчаров С. В., Стребков А. А.

* Научный руководитель – д.т.н., проф. Овчаров В. В.

сельских потребителей, как в количественном, так и в качественном отношениях.

Основная часть. Основными источниками комбинированной электротехнической системы электроснабжения жилого дома могут быть: существующие электрические сети, преобразователи солнечной энергии в электрическую, преобразователи ветровой энергии в электрическую.

Предполагается при использовании солнечной энергии преобразовывать ее в энергию переменного синусоидального тока существующей частоты.

В течение календарного года количество часов с высокой интенсивностью солнечной энергии приходится в основном на период с апреля по октябрь месяцы и составляет примерно от 2500 до 3500 часов.

Если за счет этой полученной электрической энергии покрывать потребление электрической энергии жилым домом, то уменьшение количества электрической энергии, потребляемой от существующей электрической сети, может быть найдено следующим образом:

$$W_c = n \cdot P_c, \quad (1)$$

где n – число часов солнечной активности в году, ч;

P_c – средняя активная мощность преобразованной солнечной энергии в течение времени солнечной активности, Вт.

В течение календарного года интенсивность ветрового потока систематически изменяется и зависит от скорости ветра.

Получим выражение мощности ветрового потока. Ветер представляет собой механическое движение воздушных масс.

Запишем выражение кинетической энергии ветра:

$$W_v = \frac{m v_v^2}{2}, \quad (2)$$

где m – масса воздуха, кг;

v_v – скорость ветра, м/с.

Массу воздуха, который проходит за одну секунду через определенную площадь пространства, запишем следующим образом:

$$m = \rho S v_v, \quad (3)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³;

S – площадь пространства, м².

Подставим (3) в (2) и получим выражение мощности воздушного потока:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho S v_v^3. \quad (4)$$

$$[P] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^2 \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{с}^3} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^3} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}.$$

Принимаем для определенных условий:

$$\rho = 1,32 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Тогда выражение (4) запишется следующим образом:

$$P_{\text{в}} = \frac{\rho v_{\text{в}}^3}{1500}, \quad (5)$$

где $P_{\text{в}}$ – мощность ветрового потока, кВт.

Так как в течение времени t скорость ветра $v_{\text{в}}$ непрерывно изменяется, то количество ветровой энергии, преобразованной в электрическую, за определенное время может быть найдено следующим образом:

$$W_{\text{в}} = \frac{\rho}{1500} \int_0^t v_{\text{в}}^3 \cdot dt, \quad (6)$$

Если за счет этой полученной электрической энергии покрывать потребление электрической энергии жилым домом, то уменьшение количества электрической энергии, потребляемой от существующей электрической сети, будет меньше на эту величину.

Для уменьшения стоимости электрической энергии, используемой для электроотопления жилого дома, можно воспользоваться многоставочным тарифом, используя электрическую энергию только в ночное время.

Из-за большой протяженности электрических сетей напряжением 380/220В, роста нагрузок бытовых потребителей, отсутствия средств на реконструкцию линий возникает проблема улучшения уровня питающего напряжения сельских потребителей [3].

Суть проблемы состоит в том, что сегодня напряжение на зажимах сельских потребителей значительно отклоняется в сторону уменьшения от заданных норм, хотя наблюдаются и случайные увеличения напряжения на зажимах потребителей. Это приводит к опасности выхода из строя электродвигателей привода бытовой техники: холодильников, стиральных машин и другой.

Рассмотрим, как влияет снижение напряжения на пусковые режимы работы электродвигателей привода холодильников.

Механическая характеристика компрессора холодильника описывается следующим эмпирическим выражением:

$$M_{\text{с}} = M_0 + (M_{\text{сн}} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (7)$$

где $M_{\text{с}}$ – текущий момент сопротивления на валу компрессора, Н·м;
 $M_{\text{сн}}$ – номинальный момент сопротивления на валу компрессора при номинальной угловой скорости, Н·м;
 M_0 – момент сопротивления трения в движущихся частях компрессора, Н·м;
 ω_n – номинальная угловая скорость вала компрессора, рад/с;
 ω – текущая угловая скорость вала компрессора, рад/с;

x - коэффициент, характеризующий изменение момента сопротивления при изменении угловой скорости вала компрессора. Для компрессора $x=0$.

Рассмотрим электромеханический переходный процесс при пуске асинхронного электродвигателя привода компрессора.

При этом будем считать, что номинальный момент сопротивления на валу компрессора при полной его загрузке равен номинальному моменту приводного электродвигателя, то есть

$$M_{сн} = M_n. \quad (8)$$

Тогда (7) переписывается в следующем виде:

$$M_c = M_0 + (M_n - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x. \quad (9)$$

Механическую характеристику однофазного электродвигателя представим, линеаризовав ее отдельные участки (рис. 1).

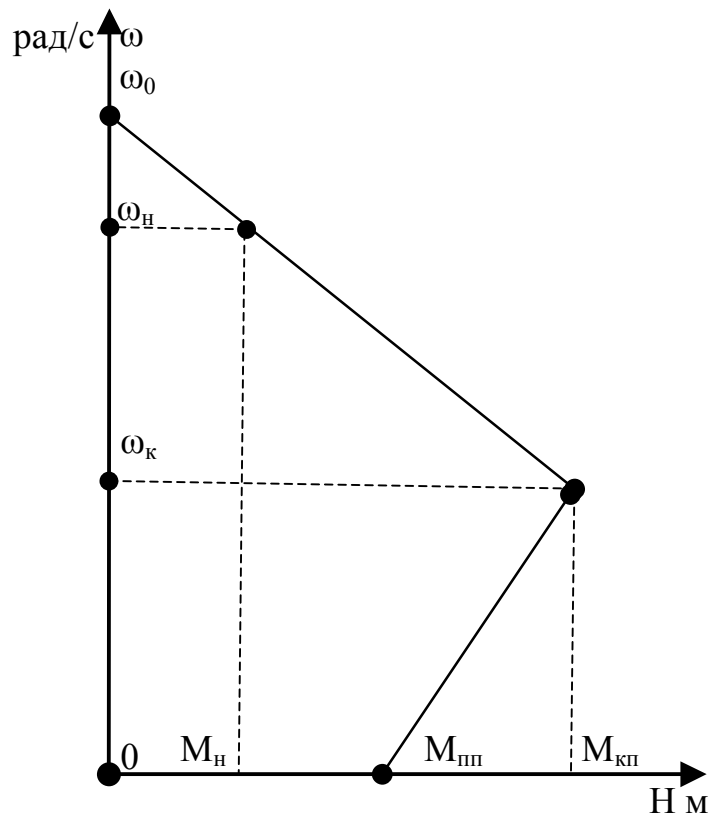


Рис. 1. Линеаризованная механическая характеристика однофазного электродвигателя при пониженном напряжении.

Запишем выражения моментов:

$$M_{кн} = \kappa_U^2 \mu_k M_n, \quad (10)$$

$$M_{нн} = \kappa_U^2 \mu_n M_n, \quad (11)$$

где κ_U – кратность напряжения;

$M_{кн}$, $M_{нн}$ – моменты: критический, пусковой при пониженном напряжении, Н·м;

μ_k, μ_n – кратности моментов: критического, пускового;

В основу электромеханического переходного процесса положим уравнение движения системы «электродвигатель – компрессор», считая момент инерции системы величиной постоянной:

$$M = I \frac{d\omega}{dt} + M_c, \quad (12)$$

где M – момент, развиваемый двигателем, Н.м;

I – момент инерции системы «электродвигатель – компрессор», кг·м²;

t – текущее время, с;

ω – угловая скорость вала электродвигателя, рад/с.

На первом участке разгона электродвигателя момент, развиваемый электродвигателем, описывается уравнением:

$$M = (M_{kn} - M_{nn}) \frac{\omega}{\omega_k} + M_{nn}, \quad (13)$$

где ω_k – критическая угловая скорость электродвигателя, рад/с.

Подставим (13) и (8) в (12) и получим уравнение движения системы на первом участке разгона электродвигателя:

$$J \frac{d\omega}{dt} - \frac{M_{kn} - M_{nn}}{\omega_k} \omega + M_n - M_{nn} = 0, \quad (14)$$

Перепишем (14) в следующем виде:

$$J \frac{d\omega}{dt} - \frac{k_U^2 \mu_k M_n - k_U^2 \mu_n M_n}{\omega_k} \omega + M_n - k_U^2 \mu_n M_n = 0, \quad (15)$$

Перепишем уравнение (15) в относительных единицах:

$$\frac{J}{M_n} \frac{d\omega}{dt} - \frac{k_U^2 \mu_k - k_U^2 \mu_n}{\omega_k} \omega + 1 - k_U^2 \mu_n = 0, \quad (16)$$

Преобразуем уравнение (16):

$$T_1 \frac{d\omega}{dt} - \omega + \frac{1 - k_U^2 \mu_n}{k_U^2 (\mu_k - \mu_n)} \omega_k = 0, \quad (17)$$

$$\text{где} \quad T_1 = \frac{J \omega_k}{M_n k_U^2 (\mu_k - \mu_n)} \quad (18)$$

Решив уравнение (16), находим выражение текущей угловой скорости на первом участке разгона электродвигателя:

$$\omega = \frac{(1 - k_U^2 \mu_n)}{k_U^2 (\mu_k - \mu_n)} \omega_k (1 - e^{-\frac{t}{T_1}}), \quad (19)$$

Приняв при t_1 $\omega = \omega_k$, находим из уравнения (19) время разгона электродвигателя на первом участке:

$$t_1 = T_1 \ln \frac{(1 - k_U^2 \mu_n) \omega_k - k_U^2 (\mu_k - \mu_n)}{(1 - k_U^2 \mu_n) \omega_k}, \quad (20)$$

Момент, развиваемый электродвигателем на втором участке разгона

$$M = (M_{kn} - M_{np}) \frac{\omega_n - \omega}{\omega_n - \omega_k} + M_{np}, \quad (21)$$

Подставив (21) и (8) в (12), получим:

$$J \frac{d\omega}{dt} - \frac{M_{\text{кн}} - M_{\text{нн}}}{\omega_{\text{н}} - \omega_{\text{к}}} (\omega_{\text{н}} - \omega) = 0, \quad (22)$$

Перепишем уравнение (22) в относительных единицах:

$$\frac{J}{M_{\text{н}}} \frac{d\omega}{dt} + \frac{k_{\text{У}}^2 \mu_{\text{к}} - k_{\text{У}}^2}{\omega_{\text{н}} - \omega_{\text{к}}} \omega - \frac{k_{\text{У}}^2 \mu_{\text{к}} - k_{\text{У}}^2}{\omega_{\text{н}} - \omega_{\text{к}}} \omega_{\text{н}} = 0, \quad (23)$$

$$T_2 = \frac{J(\omega_{\text{н}} - \omega_{\text{к}})}{M_{\text{н}}(k_{\text{У}}^2 \mu_{\text{к}} - k_{\text{У}}^2)} \quad (24)$$

$$T_2 \frac{d\omega}{dt} + \omega - \omega_{\text{н}} = 0, \quad (25)$$

Решив уравнение (24), находим выражение текущей угловой скорости на втором участке разгона электродвигателя:

$$\omega = \omega_{\text{н}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_2}} \right) + \omega_{\text{к}} e^{-\frac{t}{T_2}}, \quad (26)$$

Приняв при t_2 $\omega = \omega_{\text{к}}$, находим из уравнения (26) время разгона электродвигателя на втором участке:

$$t_2 = T_2 \ln \frac{1 - \frac{\omega_{\text{к}}}{\omega_{\text{н}}}}{1 - \kappa}, \quad (27)$$

Количественный анализ проведем на примере приводного электродвигателя холодильника «Донбасс-9» типоразмера ЭД-24 со следующими каталожными данными:

$P_{2\text{н}}=0,125$ кВт; $\eta_{\text{н}}=0,60$; $\cos\varphi_{\text{н}}=0,92$; $U_{\text{н}} = 220$ В; $s_{\text{н}}=0,055$; $s_{\text{к}}=0,51$; $\mu_{\text{п}}=1,5$; $\mu_{\text{к}}=2,5$.

Определяем номинальную и критическую угловые скорости:

$$\omega_{\text{н}} = \omega_0 (1 - s_{\text{н}}), \quad (28)$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60}, \quad (29)$$

$$\omega_{\text{к}} = \omega_0 (1 - s_{\text{к}}), \quad (30)$$

где n_0 – синхронная скорость вращения вала электродвигателя, об/мин.

Подставив значения физических величин, находим:

$\omega_0=314$ рад/с; $\omega_{\text{н}}=296,7$ рад/с; $\omega_{\text{к}}=153,9$ рад/с.

Принимаем значения параметра $J/M_{\text{н}}$ равным $0,01$ с², значения коэффициента приложенного напряжения $\kappa_{\text{и}}$ в пределах от 1,1 до 0,85. Рассчитываем значения электромеханической постоянной времени T_1 по (18) и значения времени разгона электродвигателя на первом участке t_1 по (20). Результаты расчетов заносим в табл. 1.

Таблица 1

$\kappa_{\text{и}}$	0,8164	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05
$T_1, \text{с}$	2,31	2,13	1,9	1,71	1,54	1,4
$t_1, \text{с}$	$2,31 \cdot \ln(-17,3)$	0,12	0,05	0,03	0,02	0,02

При кратности напряжения $\kappa_{\text{и}}=0,8164$ электродвигатель не запускается.

Рассчитываем значения электромеханической постоянной времени T_2 по (24) и значения времени разгона электродвигателя на втором участке t_2 по (27). Результаты расчетов заносим в табл. 2.

Таблица 2

k_u	0,8165	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05
T_2	2,14	1,77	1,39	1,14	0,95	0,81
t_2	3,37	2,78	2,19	1,79	1,5	1,28

Выводы:

1. Используя солнечную и ветровую энергию, можно существенно уменьшить потребление электрической энергии от существующих электрических сетей для целей электрообеспечения жилых домов в сельской местности.
2. Уровни напряжения на зажимах сельских потребителей могут существенно влиять на долговечность электродвигателей привода компрессоров, холодильных машин и другой бытовой техники.
3. Полученные зависимости электромеханических переходных процессов позволяют оценить тепловые переходные процессы в электродвигателе привода компрессора в период пуска и в послепусковой период в функции кратности напряжения на зажимах электродвигателя. Так, для холодильника типа «Донбасс-9» при снижении кратности приложенного напряжения до $k_u=0,8165$ электродвигатель привода компрессора вообще не запускается, что приведет к выходу его из строя.

Литература

1. Михайленко Е. Ю. Обзор существующих конструкций ветроэнергетических установок/ Е.Ю. Михайленко// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип.13. Т. 2 – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – 203 с.
2. Лукомський Д. В. Вплив затемнення на параметри фотоелектричних сонячних модулів/ Д.В. Лукомський // Збірник наукових праць Військового Інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка – 2012. – №8. – С. 115–119.
3. Овчаров В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве/ В.В. Овчаров. - Киев: Изд-во УСХ. 1990.-168 с. – ISBN 5-7987-0044-5.

КОМБІНОВАНА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

В. В. Овчаров, С. В. Овчаров, А. А. Стребков

Анотація - досліджені можливі шляхи електропостачання житлових будинків, а також електромеханічні перехідні процеси в електродвигунах побутової техніки при зниженому рівні напруги на затискачах споживача.

COMBINED ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEM OF LIVING HOUSES

V. Ovcharov, S. Ovcharov, A. Strebkov

Summary

Possible ways for living houses electric supply have been researched as well as electric and mechanical transitional processes in electric motors of appliances under low voltage level at consumer's terminals.

УДК: 631.1.2.631.1.621.1

ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ШЛЯХИ ЇЇ ВПРОВАДЖЕННЯ

Борохов І. В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (0619) 422-341

Анотація – Приведено аналіз існуючих проблем в паливно-енергетичному комплексі. Обґрунтовано можливості використання альтернативних джерел енергії і шляхів їх впровадження. Наведено математичний опис зв'язку потужності вітрової електростанції з графіком завантаження системи.

Ключові слова – вітрова електростанція, вітровий потенціал, енергетичний запас, джерела альтернативної енергії.

Постановка проблеми. Паливно-енергетична галузь в Україні є однією з найбільш уразливих на фоні загальних глобальних перебудов всесвітньої економіки та надмірної залежності виробничо-технічної бази та соціальної сфери від імпортованих енергоносіїв. Отже, гострою проблемою, яка постала перед Україною наразі, є енергетична проблема. Зростання цін на енергоносії, вичерпування ресурсів основних видів енергоносіїв, якими є, насамперед, нафта, газ, кам'яне та буре вугілля, а також обмежені можливості розвитку атомної та гідроенергетики, змушують звернути увагу на поширення використання альтернативних енергоносіїв.

Проблеми енергетичної безпеки набувають все більшої актуальності та потребують пошуку ефективних шляхів їх вирішення, визначають завдання та окреслюють нові перспективи розвитку енергетичної сфери. Отже потрібно визначити доцільність подальшого розширення цього сектору енерговиробництва та створити інформаційну базу для проектування змішаних енергосистем із відновлюваними джерелами енергії.

Аналіз останніх досліджень. У останні часи значно поглибилися роботи по дослідженню, проектуванню та впровадженню у національне господарство нетрадиційних джерел енергії, використанню яких в Україні донедавна не приділялося достатньої уваги.

Вітроенергетичний потенціал України можна наближено оцінити за даними вимірів швидкості вітру і проведеними комп'ютерними розрахунками на всіх 216 метеостанціях системи Державного гідрометеоцентру України за двадцятирічний період [1, 2, 3]. Така оцінка дає змогу зробити висновок, що територія України є доволі сприятливою щодо широкого впровадження вітрогенераторів для електрозабезпечення.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою даної статті є виявлення існуючих проблем в паливно-енергетичному комплексі, обґрунтування можливостей використання альтернативних джерел енергії і шляхів їх впровадження

Основна частина. На сучасному вітчизняному ринку енергоресурсів альтернативні джерела енергії тільки починають поступово розвиватися. У 2013 році найвищі темпи зростання встановлених потужностей продемонстрували вітроелектростанції – у 2,2 разу (зростання на 141,5 мегават), обсяг виробництва – до 262,8 мегават; сонячні електростанції – в 1,7 разу (зростання на 130,3 мегават), обсяг виробництва – до 317,8 мегават. З урахуванням зміни і корегування встановлених потужностей, які входять в об'єднану енергосистему України, у 2013 році її загальна потужність збільшилася на 0,9 % – до 53777,6 МВт [1, 2].

В Україні загальний річний технічно досяжний енергетичний потенціал альтернативних джерел енергії в перерахунку на умовне паливо становить близько 63 млн. тонн. Частка енергії добутої за рахунок альтернативних джерел становить сьогодні близько 3%. Згідно з українською енергетичною стратегією до 2030р. (табл. 1) частку альтернативної енергетики на загальному енергобалансі країни буде доведено до 20 %.

Таблиця 1 - Прогнозні показники розвитку використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії за основними напрямками освоєння, млн у. п. тон/рік [3]

Напрями освоєння альтернативних джерел енергії	Рівень розвитку альтернативних джерел енергії по роках			
	2005 р.	2010 р.	2020 р.	2030 р.
Позабалансові джерела енергії, всього	13,85	15,96	18,5	22,2
У тому числі шахтний метан	0,05	0,96	2,8	5,8
Відновлювальні джерела енергії, всього	1,661	3,842	12,054	35,53
У тому числі: Біоенергетика	1,3	2,7	6,3	9,2
Сонячна енергетика	0,003	0,032	0,284	1,1
Мала гідроенергетика	0,12	0,52	0,85	1,13
Геотермальна енергетика	0,02	0,08	0,19	0,7
Вітроенергетика	0,018	0,21	0,53	0,7
Енергія доквілля	0,2	0,3	3,9	22,7
Усього	15,51	19,83	30,55	57,73

З усіх видів нетрадиційних джерел енергії сила вітру є найбільш дешевим та екологічно чистим джерелом, а вітроенергетика з її сучасним технічним оснащенням – це вже напрямок у енергетиці.

Потужність сонячного випромінювання, яка безперервно перетворюється у енергію вітрових потоків, оцінюється приблизно у 10 ГВт. Практично можна використовувати 10 – 12% запасів, що у 100 разів більше гідроенергетичного потенціалу. За даними Департаменту енергії США, за допомогою вітру можна виробити енергії у 15 разів більше теперішньої світової її потреби [1, 2].

Найвищим вітроенергетичним потенціалом відзначаються узбережжя Чорного та Азовського морів. Тут протягом року сприятливі умови для вітровикористання та ефективної роботи потужних вітроелектростанцій та автономних вітроенергоустановок. Узимку енергетичні ресурси вітру найбільші на узбережжі Чорного та Азовського морів, середня швидкість вітру досягає 7-8 м/с. Відповідно, тривалість робочої швидкості вітру понад 3 м/с у цей сезон у південних регіонах найбільша і становить до 1400-1600 годин за зиму у східних та південних районах. Питома потужність вітрової енергії на узбережжі Чорного та Азовського морів найбільша і становить 471-597 Вт/м².

Вітровий режим значно впливає на вибір параметрів вітрових установок та їх правильне використання. Основними показниками енергії вітру, які дають змогу робити висновок про її економічну ефективність, є: середні швидкості (\bar{V}), повторюваність робочих швидкостей, тривалість затишся та тривалість активних вітрів. При наявності в даній місцевості $\bar{V} = 3$ м/с, є економічно доцільним використання вітродвигунів, які можуть бути конкурентоздатними з тепловими двигунами такої ж потужності.

За виразом (1) можна визначити частоту вітру t , проміле

$$t = 1000 \alpha \left(\frac{\Delta V}{\bar{V}} \right)^p \cdot e^{-\kappa \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^n} \quad (1)$$

де α, p, κ, n - параметри рівняння, які залежать від фізико-географічних особливостей місцевості;

ΔV - інтервали швидкості, м/с;

\bar{V} - середня швидкість вітру за розрахунковий період, м/с;

V - швидкість вітру, м/с.

Середньорічна швидкість вітру (\bar{V}) та його внутрішньорічна частота не достатньо повно характеризують корисний виробіток вітрової електростанції, яка також залежить від співпадання її потужності з графіком навантаження.

Енергія, яка вироблена вітровою електростанцією буде повністю використана в енергосистемі лише в тому випадку, коли встановлена потужність (N_{ey}) буде менше мінімального навантаження (P_{min}). Якщо $N_{ey} > P_{min}$, то завжди можуть з'явитися відрізки часу за проміжок яких потужність вітрової електростанції буде більшою від необхідного графіку навантаження, тому частина виробітку буде не використаною. Наскільки закладена потужність вітрової електростанції відповідає графіку завантаження може бути оцінено коефіцієнтом співпадання (C). Тоді корисна енергія, яка використовується в енергосистемі W_e , рівна:

$$W_{II} = W_B \cdot C \quad (2)$$

де W_e – енергія яку може виробити вітрова електростанція.

При $N_{ey} \leq P_{min}$, $C = 1$, при $N_{ey} > P_{min}$, $C < 1$, а чим більше N_{ey} , тим менше стає коефіцієнт співпадання.

Значний вплив на коефіцієнт співпадання має форма графіку навантаження, тоді якщо він заданий параметрами кривої тривалості в вигляді виразу (3)

$$x = 1 - at^n \quad (3)$$

де x – відносне навантаження;

t – відносна тривалість навантаження,

$$a = \frac{P_{min} - P_{max}}{P_{max}} \quad (4)$$

$$n = \frac{P_{cp} - P_{min}}{P_{max} - P_{cp}} \quad (5)$$

то чим менше a і більше n , тим більший коефіцієнт співпадання.

Висновки. За умов ринкової економіки необхідно розглядати різні варіанти енергозабезпечення: спорудження повітряних і кабельних ліній електропередач, використання первинних енергоносіїв чи застосування альтернативних джерел. Променева енергія Сонця має яскраво виражений сезонний і добовий характер, причому змінюється вона від нуля до свого максимального значення. Енергія вітру і морських хвиль має випадковий характер, і тому будь-яке програмування її застосування надзвичайно складне. Завдання суттєво полегшується, якщо альтернативні джерела використовувати комбіновано. Цьому сприяє і те, що в багатьох випадках, коли світить Сонце, відсутній вітер; навпаки, вітри частіше дмуть в негоду і в

осінньо-зимовий період року. Спільне використання вітроенергетичних, сонячних та інших установок помітно поліпшує їх загальні характеристики. Це проявляється в розширенні діапазонів роботи системи енергопостачання та застосуванні енергії Сонця та вітру з більш низьким потенціалом.

Проаналізувавши існуючі проблем в паливно-енергетичному комплексі та провівши детальний аналіз зміни коефіцієнту співпадання для зони Приморського району можна зробити висновки про ефективне використання енергії вітру при впровадженні вітрових електростанцій.

Література

1. Рожко А.О. Перспективи використання відновлювальних джерел енергії в Україні // А. О. Рожко // Энергосбережение. – 2007. – №2. – с. 25-28.
2. Дероган Д. В. Перспективи використання енергії та палива в Україні з нетрадиційних та відновлюваних джерел // Д. В. Дероган, А. Р. Щокін // Бюл. "Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії: бюл. – 2010. – № 2. – С. 30–38.
3. Енергетична стратегія України на період до 2030 року, затверджена Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 року №145-р.

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ПУТИ ИХ ВНЕДРЕНИЯ

И. В. Борохов

Аннотация – Приведен анализ существующих проблем в топливно-энергетическом комплексе. Обоснована возможность использования альтернативных источников энергии и путей их внедрения. Приведено математическое описание связи мощности ветровой электростанции с графиком загрузки системы.

BACKGROUND OF USE OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES AND WAYS OF IMPLEMENTATION

I. Borochov

Summary

The analysis of the existing problems in the energy sector. Studies the possibility of using alternative energy sources and ways of their implementation. The mathematical description of the link capacity wind electric station on schedule to boot.

ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА

УДК 514.177.2

**РОЗВ'ЯЗАННЯ ІЗОПЕРИМЕТРИЧНОЇ ЗАДАЧІ
ДЛЯ ЗАМКНЕНОЇ ЛОМАНОЇ
ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРЕМИ ПРО ТРИ СИЛИ**

Величко І. Г., к.ф.-м.н.,

Іщенко О. А., інж.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-68-74

Анотація – Розглядається замкнена ламана з рухомими ланками на площині. Шукається така її форма, при якій вона має максимальну площу. Відомий результат про те, що ламана має бути вписана в коло, доводиться новим чином – з використанням теореми про три сили.

Ключові слова: замкнена ламана, рухома ланка, теорема про три сили, описане коло, умови рівноваги, ізопериметрична задача.

Актуальність теми. Ізопериметрична задача в вузькому сенсі формулюється наступним чином: який вигляд повинна мати проста замкнена крива фіксованої довжини на площині, щоб вона обмежувала максимальну можливу площу. Якщо розглядати криву, задану параметричним рівнянням $\vec{r} = (x(t), y(t))$, яка в кожній точці має дотичну, то сформульована задача записується наступним чином[1]: знайти максимум функціоналу

$$\int_{t_0}^{t_1} x(t)y'(t)dt$$

$$\text{при умовах } \int_{t_0}^{t_1} \sqrt{x'^2 + y'^2} dt = l, \quad x(t_0) = x(t_1), \quad y(t_0) = y(t_1).$$

В широкому сенсі ізопериметричними називаються задачі пошуку екстремуму функціонала при наявності інтегральних обмежень. Подібні задачі відносяться до варіаційного числення [1].

Якщо сформулювати класичну ізопериметричну задачу для замкненої ламаної з рухомими ланками, то варіаційний підхід не можна застосовувати. Відомо, що задана замкнена ламана буде

обмежувати максимальну площу тоді та тільки тоді, коли вона вписана в коло [2]. Цікавим є з'ясування того факту, в чому полягає механічний сенс цього явища.

Постановка проблеми. Є замкнена ламана зі рухомими ланками фіксованої довжини. Потрібно знайти таке її положення, при якому площа, обмежена цією ламаною, приймає максимальне значення.

Метод розв'язання. Розглянемо фізичне тіло, яке складається з системи прямокутних пластинок, причому сусідні пластинки шарнірно зчеплені між собою таким чином, щоб утворювати рухому бокову поверхню прямої призми. Ця призма розташована вертикально на гладкій поверхні. Перетин, перпендикулярний вісі цієї призми, буде представляти собою замкнену ламану з рухомими ланками. Всередину цієї призми заллємо рідину або помістимо резинову ємність з повітрям і почнемо нагнітати тиск. Під тиском рідини призма набуде форми, коли її об'єм максимальним. Оскільки при фіксованій висоті об'єм призми пропорційний площі його перетину, то перетин буде мати максимальну площу. Форма цього перетину і є розв'язком ізопериметричної задачі для замкненої ламаної. Ця конструкція описана в [2].

Доведемо, що ламана, яка є розглянутим вище перетином, вписана в коло.

Розглянемо перетин призми. На всі пластини з однаковою силою тисне повітря, причому результуюча сила пропорційна площі пластини, а, отже, і довжині відповідної ланки ламаної. Напрямок сили перпендикулярний площині пластини і направлений зовні. Розглянемо ламану, яка є перетином призми, і сили, які діють на її ланки (Рис.1.). Розглянемо одну з ланок, звільнимо її від зв'язків і замінимо їх реакціями. (Рис.2).

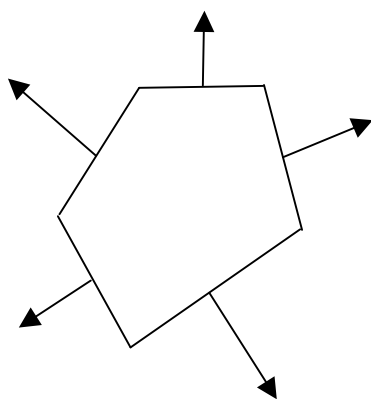


Рис. 1.

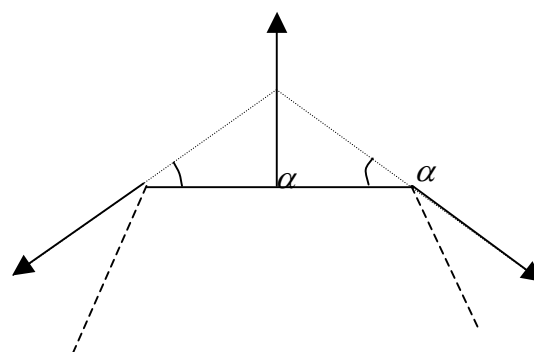


Рис. 2.

На ланку, яка знаходиться в рівновазі, діють три сили, які, згідно з теоремою про три сили, перетинаються в одній точці – точці O . Оскільки одна з сил направлена вздовж серединної нормалі, то дві інші лінії утворюють з ланкою рівнобедрений трикутник. В силу третього закону Ньютона [3] на сусідні ланки діють сили, протилежні по напрямку та рівні по модулю відповідним силам.

Спочатку розглянемо випадок, коли ламана складається з чотирьох ланок. Зобразимо лінії, на яких лежать сили взаємодії ланок ламаної, та позначимо кути (рис.3).

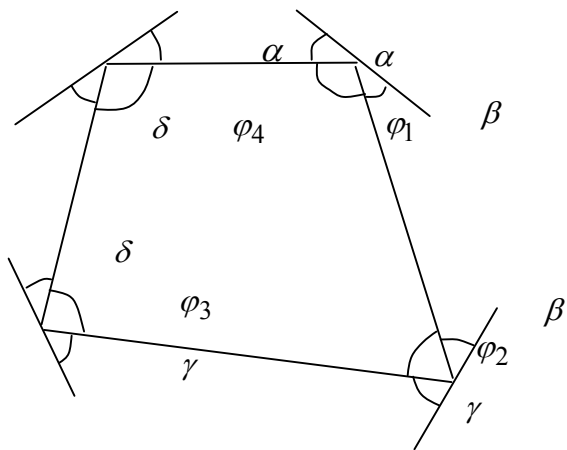


Рис. 3.

Мають місце наступні рівності

$$\alpha + \beta + \varphi_1 = \pi,$$

$$\beta + \gamma + \varphi_2 = \pi,$$

$$\gamma + \delta + \varphi_3 = \pi,$$

$$\delta + \alpha + \varphi_4 = \pi.$$

Додамо перше та третє рівняння та віднімемо друге та четверте. Отримаємо рівність

$$\varphi_1 + \varphi_3 - \varphi_2 - \varphi_4 = 0$$

наслідком якої є той факт, що чотирикутник вписаний в коло [5].

Таким чином ми довели, що якщо замкнена ламана з чотирма ланками обмежує максимальну площу при умові, то вона вписана в коло.

Повернемось до загального випадку. Нехай ламана має більш ніж чотири ланки. В описану вище конструкцію, яка реалізує максимальний перетин, додаємо ще одну пластину, що сполучає два ребра призми, між якими знаходяться рівно два ребра. Наявність додаткової зв'язки не порушить рівноваги. Отже, до отриманого чотирикутника можна застосувати наведені вище міркування. Отримаємо, що чотири сусідні вершини ламаної лежать на одному колі. Оскільки це має місце для любых чотирьох сусідніх вершин, то звідси випливає, що всі вершини ламаної лежать на одному колі, в яке вона вписана.

Висновки. В статті, з використанням апарату теоретичної механіки, наведено нове доведення твердження, що зі всіх замкнених ламаних с фіксованими довжинами ланок найбільшу площу обмежує та, яка вписана в коло.

Література

1. *Эльсгольц Л.Э.* Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление / Л.Э. Эльсгольц // М.: Наука, 1969, 425с.
2. *Протасов В.Ю.* Максимумы и минимумы в геометрии [Текст] / В.Ю. Протасов // - М.: НЦНМО, 2005.- 56 с.
3. *Голубев Ю.Ф.* Основы теоретической механики / Ю.Ф.Голубев // - М.: МГУ, 2000. —720 с
4. *Яворский Б.М.* Справочник по физике / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф // М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1985. — 512 с.
5. *Выгодский М.Я.* Справочник по элементарной математике /М. Я. Выгодский // М. Наука, 1965, 336с.

**РЕШЕНИЕ ИЗОПЕРИМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ
ДЛЯ ЗАМКНУТОЙ ЛОМАННОЙ
С ПОМОЩЬЮ ТЕОРЕМЫ О ТРЕХ СИЛАХ**

И. Г. Величко, О. А. Ищенко

Аннотация - рассматривается замкнутая ломаная с подвижными звеньями на плоскости. Ищется такая ее форма, при которой она имеет максимальную площадь. Известный результат о том, что она должна быть вписана в окружность, доказана новым способом – с применением теоремы о трех силах.

**DECISION ISOPERIMETRIC PROBLEM FOR CLOSED
POLYGONAL USING THEOREM ABOUT THREE FORCES**

I. Velichko, O. Ischenko

Summary

Considered closed polygon with mobile units on the plane. It sought such form in which it has the maximum area. Known result that it should be inscribed in a circle, proved in a new way - using theorem three forces.

УДК 517.518.82

ВІДНОВЛЕННЯ КРИВОЇ ЗА ЇЇ НОРМАЛЯМИ В СИСТЕМІ ТОЧОК

Величко О. В., к.ф.-м.н.,

Малкіна В. М., д.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-68-74

Анотація – Для деякої кривої відомі напрямки нормалей в системі точок. Ставиться задача про апроксимацію цієї кривої. Шукана крива повинна задаватися многочленом. Функція нев'язки вибрана таким чином, що система для визначення коефіцієнтів многочлена була лінійною. Систему було отримано методом найменших квадратів. Отримані розрахункові формули та наведено чисельний приклад, який ілюструє ефективність запропонованого алгоритму.

Ключові слова: нормаль, нев'язка, крива, многочлен, відновлення.

Актуальність теми. Як відомо, регулярну криву на площині можна однозначно (з точністю до положення) відновити за її натуральними рівняннями [1]. Однак на практиці не завжди відомі геометричні характеристики кривої у всіх її точках. Якщо у дослідника є інформація про криву в дискретній системі точок, то одним із методів відновлення кривої є апарат дискретного геометричного моделювання [2]. При цьому результатом роботи відповідних алгоритмів є додаткова інформація про криву на більш широкій множині точок при деяких апріорних припущеннях про її поведінку.

Задача пошуку апроксимуючого полінома, зазвичай, розглядається для кривої, про яку відомо положення декількох точок [3]. В статті цей підхід пропонується для відновлення кривої по дискретній системі її нормалей. Така задача виникає, наприклад, при відновленні тривимірного образу об'єкта по його фотографії при використанні моделі Ламберта[4]. В таких задачах, зазвичай, використовуються інші методи, описані у статтях [5,6].

Постановка проблеми. На координатній площині задана деяка регулярна крива Φ , яка однозначно проектується на область

D координатної осі OX . В області D задано n точок $A_i(x_i)$, $i=1..n$, в яких відомі нормалі \bar{v}_i до кривої Φ . Потрібно знайти криву Ψ , яка описується рівнянням $y = P_m(x)$, нормалі до якої в точках A_i «близькі» в деякому сенсі по напрямку до векторів \bar{v}_i . Тут $P_m(x)$ - поліном фіксованого степеня m . Поняття «близькості» нормалей потрібно строго визначити при формалізації задачі.

Якщо для визначення «близькості» порівнювати задані та відновлені нормалі одиничної довжини, то функція нев'язки буде містити радикали, і система, утворена після обчислення частинних похідних буде дуже громіздкою і її розв'язок аналітично знайти не можливо. Ставиться задача розробки алгоритму, який призводить саме до лінійної системи рівнянь.

Метод розв'язання. Вважаємо, що всі нормалі \bar{v}_i задані таким чином, що утворюють гострий кут з додатним напрямком вісі OY . Оскільки нас цікавить тільки напрямок векторів, а не їх довжина, зручно вважати, що вони нормовані таким чином, що їх друга координата дорівнює одиниці, тобто $\bar{v}_i = \bar{v}_i(v_i, 1)$.

Функцію $P_m(x)$ запишемо у вигляді

$$P_m(x) = \sum_{j=0}^m a_j x^j. \quad (1)$$

Тоді вектор нормалі к графіку функції $y = P_m(x)$ в точці $A_i(x_i)$ буде наступним

$$\bar{\omega}_i = (-P'_m(x_i), 1). \quad (2)$$

Таким чином, якщо поставлена задача розв'язана точно, то повинні мати місце рівності

$$\bar{\omega}_i = \bar{v}_i, i = 1..n,$$

які можна записати у вигляді однієї тотожності

$$\sum_{i=1}^n (\bar{\omega}_i - \bar{v}_i)^2 = 0.$$

Оскільки ступінь многочлена $P_m(x)$ фіксований, то мова йде про наближений розв'язок. В цьому випадку наведений вираз не буде дорівнювати нулю. «Близькість» напрямків заданих та побудованих нормалей будемо характеризувати нев'язкою

$$F = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (\bar{\omega}_i - \bar{v}_i)^2, \quad (3)$$

яку потрібно мінімізувати. З урахуванням (1) та (2), в розгорнутому вигляді нев'язка буде записуватися наступним чином

$$2F(a_1, a_2, \dots, a_m) = \sum_{i=1}^n \left(v_i + \sum_{j=1}^m j a_j x_i^{j-1} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

Кількість шуканих параметрів a_j дорівнює $m-1$, оскільки наявність доданка a_0 не впливає на напрямки нормалей. Для знаходження цих параметрів, згідно з методом найменших квадратів, потрібно знайти частинні похідні від F по ним та прирівняти отримані вирази до нуля. Це призводить до системи рівнянь

$$\frac{\partial F}{\partial a_s} = \sum_{i=1}^n \left(\left(v_i + \sum_{j=1}^m j \cdot a_j x_i^{j-1} \right) s x_i^{s-1} \right) = 0, \quad s = \overline{1, m}$$

Після перетворень матимемо

$$\sum_{j=1}^m j a_j R_{j+s-2} + L_{s-1} = 0, \quad s = \overline{1, m}, \quad (5)$$

де

$$R_\alpha = \sum_{i=1}^n x_i^\alpha, \quad L_\alpha = \sum_{i=1}^n v_i x_i^\alpha. \quad (6)$$

Розв'язавши систему (5), отримаємо значення коефіцієнтів, які задають криву Ψ .

Тестовий приклад. Нехай тестова крива Φ задана рівнянням $y = -\sin(8x)e^{-x}$ та 7 точок $A_1(0)$, $A_2(0.1)$, $A_3(0.2)$, $A_4(0.3)$, $A_5(0.4)$, $A_6(0.5)$, $A_6(0.6)$. Відповідні нормовані нормалі мають вигляд $\bar{v}_1 = (8,1)$, $\bar{v}_2 = (4.394,1)$, $\bar{v}_3 = (-1.010,1)$, $\bar{v}_4 = (-4.871,1)$, $\bar{v}_5 = (5.314,1)$, $\bar{v}_6 = (-2.713,1)$, $\bar{v}_7 = (0.931,1)$.

По відомим координатам точок A_i та нормалей \bar{v}_i , за допомогою наведеного вище математичного апарату були отримані многочлени

$$P_3 = -9.12x + 36.775x^2 - 32.98x^3$$

та

$$P_5 = -8x + 5.054x^2 + 118.349x^3 - 263.401x^4 + 115.498x^5,$$

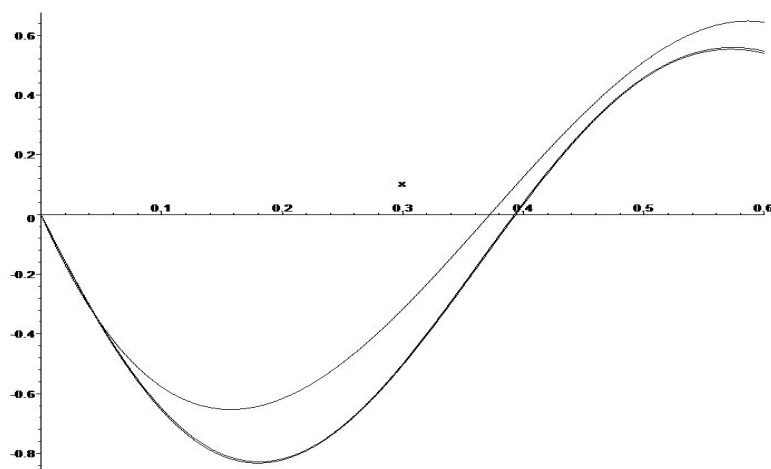
які описують функції, що апроксимують тестову функцію.

В таблиці 1 наведені перші координати векторів нормалей, обчислених для кривої Φ (тобто заданих) в точках A_i , та ці ж координати для нормалей побудованих кривих (нагадаємо, що другі координати дорівнюють 1).

Таблиця 1 – Абсциси нормованих векторів нормалей

i	1	2	3	4	5	6	7
x_i	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
Φ	8	4.394	-1.01	-4.871	5.314	-2.713	0.931
P_3	9.12	2.754	-1.633	-4.041	4.47	-2.921	0.607
P_5	7.997	4.411	-1.042	-4.84	-5.327	-2.711	0.931

На рис.1 зображена задана крива Φ та дві криві, які є результатом її відновлення. Коефіцієнт $a_0 = 0$ обирався таким чином, щоб ці криві мали загальну точку $(0,0)$.

Рис. 1. Задана крива Φ та відновлені криві P_3 та P_5 .

Як бачимо, крива, задана многочленом P_5 , точніше наближає тестову криву Φ . Нев'язки (3) для функцій $y = P_3(x)$ та $y = P_5(x)$ відповідно дорівнюють 2.9404 та 0.0012.

Висновки. В статті сформульована задача про наближене відновлення кривої (з точністю до вертикальних зсувів) за її відомими нормаллями в системі точок. Обґрунтовано та записано вираз для невязки. За допомогою методу найменших квадратів отримано розрахункові формули. Розглянуті тестові приклади підтверджують достовірність запропонованої методики.

Література

1. Сизый С.В. Лекции по дифференциальной геометрии. // С.В. Сизый // Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 376с.
2. Найдих В.М. Основы прикладной геометрии (навчальний посібник) / В.М. Найдих, А.В. Найдих, В.М. Верещага, В.М. Малкіна// Мелітополь, 2007. – 194с.
3. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обра-

- ботки наблюдений / Ю.В. Линник // – М 1962. – 352с.
4. *Вежневцев В.М.* Задача восстановления формы объекта по закраске (shape from shading). / В.М. Вежневцев. // Компьютерная графика и мультимедиа. – Выпуск №2(1)/2004. Режим доступа <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/59>
 5. *Корчагин Д.С.* Реконструктивная геометрия кривой линии. / Д.С.Корчагин, К.Л. Панчук// Электронный журнал "ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМЕТРИЯ»– Выпуск 13 номер 27. Режим доступа <http://www.apg.mai.ru/Volume13/Number27/pan1327.pdf>
 6. *Doi M.* Three-dimensional mesh generation of an object from an image by shape-from-shading and ellipsoidal bubble mesh method //M.Doi, Y. Takabe //Electronic Imaging 2007. – International Society for Optics and Photonics, 2007. – С. 649908-649908-9.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КРИВОЙ ПО ЕЕ НОРМАЛЯМ В СИСТЕМЕ ТОЧЕК

Е. В. Величко, В. М. Малкина

Аннотация - для некоторой кривой известны направления нормалей в системе точек. Ставится задача об аппроксимации этой кривой. Искомая кривая должна задаваться многочленом. Функция невязки выбирается таким образом, что система для определения коэффициентов многочлена была линейной. Данную систему было получено методом наименьших квадратов. Получены расчетные формулы и приведены численные примеры, которые иллюстрируют эффективность предложенного алгоритма.

RECOVERY CURVE ON ITS NORMALS SPECIFIED IN THE POINTS

H. Velichko, V. Malkina

Summary

Consider the problem of searching for polynomial. Normal to the graph of this polynomial at the given points are close to the given vectors. Applicable the specially constructed function of the discrepancy and the method of least squares. Obtain a system of linear equations to determine the coefficients of the polynomial. Given the calculation formulas. A numerical example has be. Illustrated the efficiency of the proposed algorithm.

УДК 514.18

СПОСІБ ДИСКРЕТНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ СПІРАЛЕПОДІБНИХ ДПК У ПОЛЯРНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ З ВРАХУВАННЯМ ВНУТРІШНЬОЇ ГЕОМЕТРІЇ КРИВОЇ

Мацулевич О. Е., к.т.н.,

Щербина В. М., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-68-62

Анотація – Робота присвячена проблемі дискретної інтерполяції спіралеподібних дискретно представлених кривих (ДПК) у полярній системі координат на основі кутів суміжності ланок вихідної ДПК та перевищень точок згущення над відповідними ділянками супроводжуючої ламаної лінії (СЛЛ).

Ключові слова – полярна система координат, точки згущення, діапазон згущення, осциляція, супроводжуючої ламаної лінії (СЛЛ), дискретно представлені криві (ДПК).

Постановка проблеми. Відомі геометричні схеми та алгоритми моделювання дискретно представлених кривих (ДПК) у декартовій системі координат не є достатньо ефективними при розв'язанні задач дискретної інтерполяції спіралеподібних і замкнених ДПК, оскільки вони характеризуються неоднозначністю відносно осі Ox . Застосування полярної системи координат $(\rho; \varphi)$ при розв'язанні такого роду задач дозволяє спростити математичний апарат моделювання та уникнути неоднозначності кривих.

Аналіз попередніх досліджень. Попередні публікації [1,4] розглядають перспективні способи та додаткові можливості дискретної інтерполяції, які враховують внутрішню геометрію ДПК у вигляді кутів суміжності та закономірності їх зміни. У роботах [2,3] розглядається згущення точкових рядів та однозначних дискретно представлених кривих на основі кутів суміжності та на основі перевищень точок згущення над хордами вихідної ДПК у декартовій системі координат. Однак розв'язання задач дискретної інтерполяції спіралеподібних та замкнених ДПК зручніше проводити у полярній системі координат у зв'язку з їх неоднозначністю відносно осі Ox , а ці питання не отримали подальшого розвитку.

Формулювання цілей статті. Запропонувати спосіб дискретної інтерполяції з врахуванням внутрішньої геометрії спіралеподібних ДПК у полярній системі координат, який забезпечить відсутність осциляції розв'язку.

Основна частина. Розглянемо фрагмент довільної спіралеподібної ДПК у полярній системі координат (рис.1). Будемо вважати, що ДПК є опуклою, не осцилює, а усі її точки не мають похибок (у межах допуску). Задача інтерполяції полягає в побудові проміжних точок (визначенні радіусів $\rho_{i+0,5}$ на довільній сітці кутів $\varphi_{i+0,5}$, що задовольняють вимогам опуклості на визначеній ділянці. Розглянемо схему, представлену на рис.1.

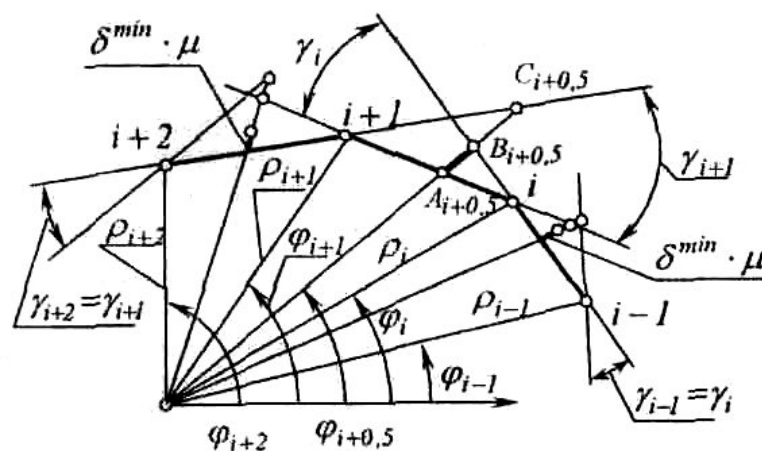


Рис.1

Алгоритм визначення $\rho_{i+0,5}$ полягає в наступному:

1. Визначаємо значення $\rho_{A_{i+0,5}}$ за формулою [1]:

$$\rho_{A_{i+0,5}} = \frac{\rho_i \cdot \rho_{i+1} \cdot \sin(\varphi_{i+1} - \varphi_i)}{\rho_i \cdot \sin(\varphi_{i+0,5} - \varphi_i) + \rho_{i+1} \sin(\varphi_{i+1} - \varphi_{i+0,5})} \quad (1)$$

2. Визначаємо значення $\rho_{B_{i+0,5}}$ за формулою:

$$\rho_{B_{i+0,5}} = \frac{\rho_i \cdot \rho_{i-1} \cdot \sin(\varphi_i - \varphi_{i-1})}{\rho_{i-1} \cdot \sin(\varphi_{i+0,5} - \varphi_{i-1}) - \rho_{i+1} \sin(\varphi_{i+0,5} - \varphi_i)} \quad (2)$$

3. Визначаємо значення $\rho_{P_{i+0,5}}$ за формулою:

$$\rho_{P_{i+0,5}} = \frac{\rho_{i+1} \cdot \rho_{i+2} \cdot \sin(\varphi_{i+2} - \varphi_{i+1})}{\rho_{i+2} \cdot \sin(\varphi_{i+2} - \varphi_{i+0,5}) - \rho_{i+1} \sin(\varphi_{i+1} - \varphi_{i+0,5})} \quad (3)$$

4. Порівнюючи значення $\rho_{B_{i+0,5}}$ і $\rho_{P_{i+0,5}}$ знаходимо менше з них (для схеми, яка наведена на рис.1 маємо $\rho_{B_{i+0,5}} < \rho_{P_{i+0,5}}$).

З метою запобігання виникненню осциляції точку згущення слід вибирати в середині діапазону $(A_{i+0,5} B_{i+0,5}) = \delta_{i+0,5}$.

5. Аналогічно знаходимо діапазони для всіх ланок вихідної ДПК окрім першої і останньої.
6. Вибираємо серед цих діапазонів найменший δ^{min}
7. Визначаємо координати точок згущення за формулою:

$$\rho_{i+0,5} = \rho_{A_{i+0,5}} + \delta^{min} \cdot \mu_i, \quad \mu_i = [0 : 1], \quad i = \overline{0; n-1} \quad (4)$$

де μ . - коефіцієнт повноти обводу [5].

Згідно з наведеним алгоритмом (як видно з рис. 1 та з формул (1-3)) неможливо побудувати точки згущення для першої і останньої ланки вихідної ДПК. Для їх визначення призначимо кут суміжності γ_0 такий саме, як γ_1 , а кут суміжності γ_n такий саме, як γ_{n-1} (рис.1) після чого, за формулою (4), знаходимо шукані точки згущення.

Висновки. Моделювання спіралеподібних ДПК у полярній системі координат запропонованим способом дозволяє:

1. Забезпечити відсутність осциляції розв'язку при моделюванні.
2. Значно спростити математичний апарат.
3. Здійснювати моделювання як на рівномірній, так і на нерівномірній сітці кутів φ .

Література

1. *Найдиш В.М.* Перспективні способи дискретної інтерполяцій / В.М. Найдиш //Тез. доп. Між нар. наук. - практ. конференції. Донецьк, ДонГТУ. 2000, с. 19-20.
2. *Найдиш В.М.* Згущення однозначних дискретно представлених кривих на основі кутів суміжності /В.М. Найдиш В.М. Щербина // Прикл. геом. та інж. граф. Праці ТДАТА, Вип. 4, т. 17.- Мелітополь, ТДАТА, 2002.- с. 3-7.
3. *Найдиш А.В.* Згущення точкових рядів на основі кутів суміжності / А.В. Найдиш, В.О. Лебедев // Прикл. геом. та інж. граф. Праці ТДАТА, Вип 4, т, 19.- Мелітополь, ТДАТА, 2003.- с. 26-31.

4. *Найдиш В.М.* Додаткові можливості дискретної інтерполяції / В.М. Найдиш // Прикл. геометрія та інж. граф. - К. КДТУБА, 2000.- Вип. 67, с. 17-22.
5. *Найдиш В.М.* Локальне згущення ДПК довільної конфігурації / В.М. Найдиш, А.В. Найдиш // Геом. та комп. моделювання. Праці ХДУХТ, Вип. 9. Харків, ХДУХТ, 2005. с. 73-81.
6. *Найдиш А.В.* Завдання спіралеподібних ДПК у полярній системі координат / А.В. Найдиш, О.Є. Мацулевич // Прикл. геом. та інж. граф. Праці ТДАТА, Вип. 4, т. 17.- Мелітополь, ТДАТА, 2002.- с. 18-22.
7. *Мирдавидов М.М.* Вопросы конструирования выпуклых замкнутых кривых в дискретной форме / М.М. Мирдавидов // Прикл. геометрія та інж. граф. –К, КИСИ, 1980.- Вип. 32, с. 34-36.

**СПОСОБ ДИСКРЕТНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ
СПИРАЛЕОБРАЗНЫХ ДПК В ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ
КООРДИНАТ С УЧЕТОМ
ВНУТРЕННЕЙ ГЕОМЕТРИИ КРИВОЙ**

А.Е. Мацулевич , В.М. Щербина

Аннотація - работа посвящена проблеме дискретной интерполяции спиралеобразных дискретно представленных кривых (ДПК) в полярной системе координат на основе углов смежности звеньев исходной ДПК и превышений точек сгущения над соответствующими участками сопровождающей ломаной линии.

**WAY OF DISCRETE INTERPOLATION SPIRAL DSC IN POLAR
SYSTEM OF COORDINATES IN VIEW OF INTERNAL
GEOMETRY OF THE CURVE**

A. Matsulevich, V. Shcherbina

Summary

Work is devoted to a problem of discrete interpolation spiral discretely submitted curves (DSC) in polar system of coordinates on the basis of corners of a contiguity of parts initial DSC and relative height points of a condensation above corresponding sites of accompanying line.

УДК 514.18

ЗГУЩЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ДІЛЯНОК ДПК НА ОСНОВІ АДАПТИВНОГО СПОСОБУ ДИСКРЕТНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

Спірінцев В. В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-68-44

Анотація – пропонується розв’язання задачі згущення перехідної ланки ДПК шляхом побудови точок згущення на основі адаптивного способу дискретної інтерполяції.

Ключові слова – згущення, адаптивний спосіб, кутові параметри.

Постановка проблеми. Дискретна інтерполяція (згущення) плоских ДПК довільної конфігурації, в тому числі і неоднозначних по відношенню до осі Ox , найбільш ефективно може бути здійснена на основі кутових параметрів. Розроблені в цьому напрямку методи орієнтовані на локальне згущення кожної з ланок супроводжуючої ламаної лінії (СЛЛ) ДПК з погодженням значень вказаних параметрів у вузлах ДПК. Проблема полягає в можливості застосування адаптивного способу дискретної інтерполяції, який ефективно розв’язує задачі згущення опуклих ділянок ДПК [1], для розв’язання задачі згущення перехідних ділянок ДПК.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження [2-4] свідчать про ефективність застосування кутових параметрів при розв’язанні задач дискретної інтерполяції опуклих ділянок ДПК. Разом з тим, запропоновані методи, окрім [2], не в змозі в такій же мірі ефективно згущувати перехідні ділянки. Для запобігання цього авторами запропоновано спеціальні заходи і прийоми, що дозволяють розв’язувати цю задачу, але ці прийоми виходять за межі розроблених методів. В роботі [1] було запропоновано адаптивний спосіб дискретної інтерполяції. Проте ефективність його роботи було розглянуто лише при розв’язанні задачі згущення опуклих ділянок ДПК. Але можливості його подальшого вдосконалення та розвитку ще не вичерпані.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розв'язання задачі згущення перехідних ділянок ДПК за допомогою запропонованого нами адаптивного способу дискретної інтерполяції [1].

Основна частина. Основною особливістю адаптивного способу дискретної інтерполяції є те, що процес згущення здійснюється в одному напрямку (від меншого кута до більшого) інакше можлива поява осциляції. Розглянемо локальне згущення ланки $(i, i+1)$ ДПК (рис.1), де у вузлах $i+1$ і i задані дотичні y'_{i+1} і y'_i , відповідно. Розіб'ємо ланку $(i, i+1)$, довжина якої l , на n частин, що утворюють рівномірну сітку з кроком \bar{h} , і на цій сітці побудуємо точки згущення.

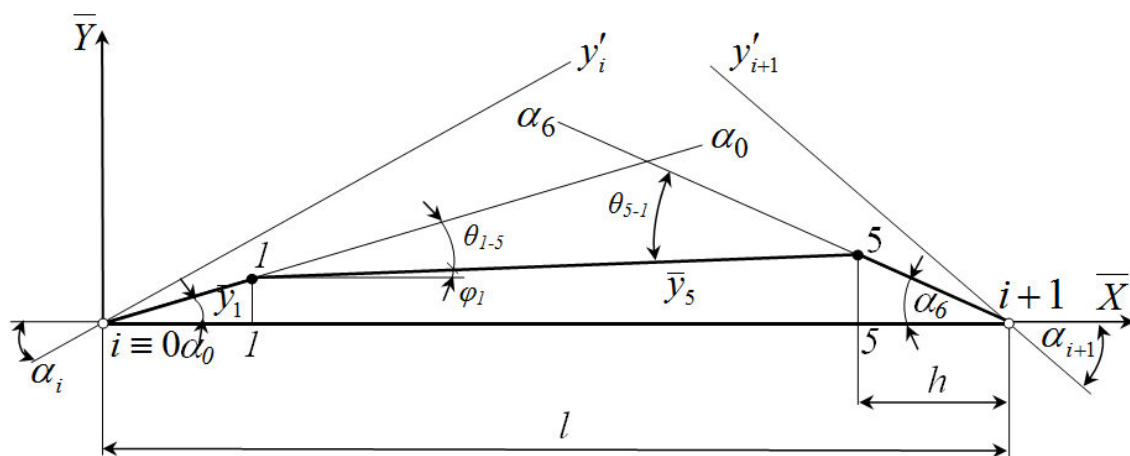


Рис.1. Схема локального згущення.

Розв'язання поставленої задачі пропонується здійснити наступним чином:

1) Проводимо промінь α_6 з боку кута α_{i+1} під кутом $\alpha_6 = \arctg(p_6 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{i+1})$ до вихідної ланки $(i, i+1)$, де $p_d = 1 - (1 - \mu)^{\frac{\ln d}{\ln 2}}$ – коефіцієнт керування [5], що залежить від числа розбивок n вихідної ланки $(i, i+1)$ та коефіцієнту згущення $\mu = 0,25$ [3]. В результаті перетину даного променя α_6 з лінією зв'язку $\bar{x} = 5$ одержуємо точку згущення т.5, ордината якої: $\bar{y}_5 = \bar{h} \cdot \operatorname{tg} \alpha_6$ (див. рис.1).

2) Проводимо промінь α_0 з боку кута α_i під кутом $\alpha_0 = \arctg(p_6 \cdot \operatorname{tg} \alpha_i)$ до вихідної ланки $(i, i+1)$. В результаті перетину даного променя α_0 з лінією зв'язку $\bar{x} = 1$ одержуємо точку згущення т.1, ордината якої: $\bar{y}_1 = \bar{h} \cdot \operatorname{tg} \alpha_0$.

3) Далі з'єднуємо отриману точку згущення т.1 з отриманою раніше т.5 хордою 1-5, що утворює з вихідною ланкою $(i, i+1)$ кут

$$\varphi_1 = \arctg\left(\frac{\bar{y}_5 - \bar{y}_1}{l - 2\bar{h}}\right).$$

4) Порівнюємо отримані кути θ_{5-1} та θ_{1-5} , і виявляємо менший з них. Де θ_{5-1} - кут, що утворює хорда 1-5 і промінь α_6 : $\theta_{5-1} = \alpha_6 + \varphi_1$; θ_{1-5} - кут, що утворює хорда 1-5 і промінь α_0 , $\theta_{1-5} = \alpha_0 - \varphi_1$. В нашому випадку, згідно з рис.1 $\theta_{1-5} < \theta_{5-1}$. Продовжуємо згущати з боку меншого кута θ_{1-5} згідно з п. 2 - п.4.

5) В результаті отримуємо наступні значення: кут нахилу $\alpha_1 = \arctg(p_4 \cdot \operatorname{tg} \alpha_i)$, ордината $\bar{y}_2 = \bar{h} \cdot \operatorname{tg} \alpha_1$, кут нахилу хорди 2-5 до ланки $(i, i+1)$ дорівнює $\varphi_2 = \arctg\left(\frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_5}{l - 3\bar{h}}\right)$, кути $\theta_{2-5} = \alpha_1 + \varphi_2$, $\theta_{5-2} = \alpha_6 - \varphi_2$. Порівнюємо отримані кути: $\theta_{2-5} < \theta_{5-2}$ (рис.2) та продовжуємо згущення з боку меншого кута θ_{2-5} відповідно до попередніх пунктів.

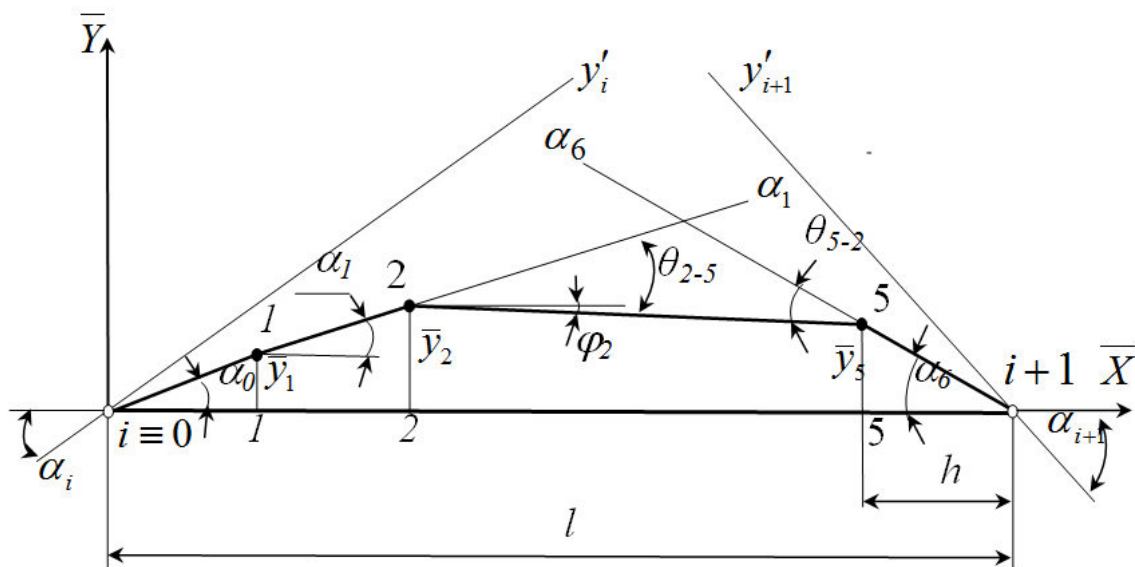


Рис.2. Схема локального згущення.

В результаті виконання вказаної послідовності дій отримуємо результат локального згущення ланки ДПК на основі адаптивного способу (рис.3).

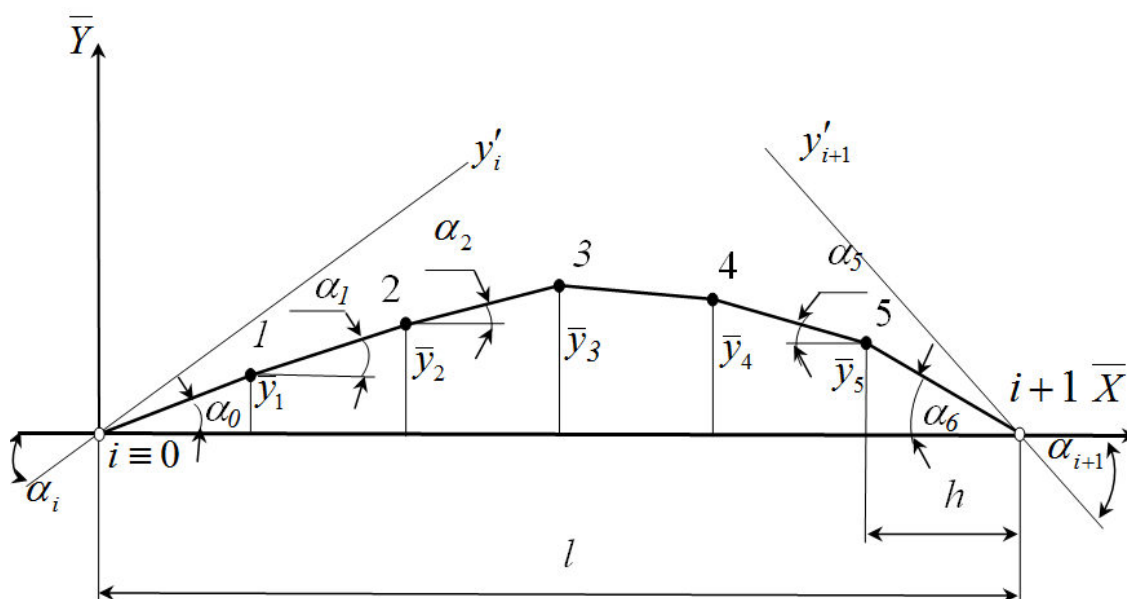


Рис.3. Результат локального згущення опуклої ділянки.

При розробці алгоритму згущення перехідної ділянки ДПК приймаємо до уваги наступні припущення: СЛЛ згущеної ДПК на ділянці перегину обов'язково перетинає ланку $(i, i+1)$; точка перегину A знаходиться ближче до вузла, що має менший за абсолютною величиною кут суміжності.

Згідно з рис.4 пропонуємо, що m -частина довжини ланки $[i, i+1]$, що примикає до меншого кута (в даному випадку γ_i^0), і відповідає положенню т.А, дорівнює

$$m = \frac{|\gamma_i^0|}{|\gamma_i^0| + |\gamma_{i+1}^0|} \cdot [i, i+1], \quad |\gamma_i^0| < |\gamma_{i+1}^0|, \quad (1)$$

де $[i, i+1]$ - довжина ланки $(i, i+1)$.

Враховуючи це (рис.4), ділянка від т.і до т.А - опукла, а від т.А до $i+1$ - увігнута. В т.А будуємо промінь під кутом γ_{i+1}^0 до вихідної ланки $(i, i+1)$. Подальші дії зводимо до побудови точок згущення на отриманих ділянках (i, A) та $(A, i+1)$ згідно з пунктами описаного вище алгоритму.

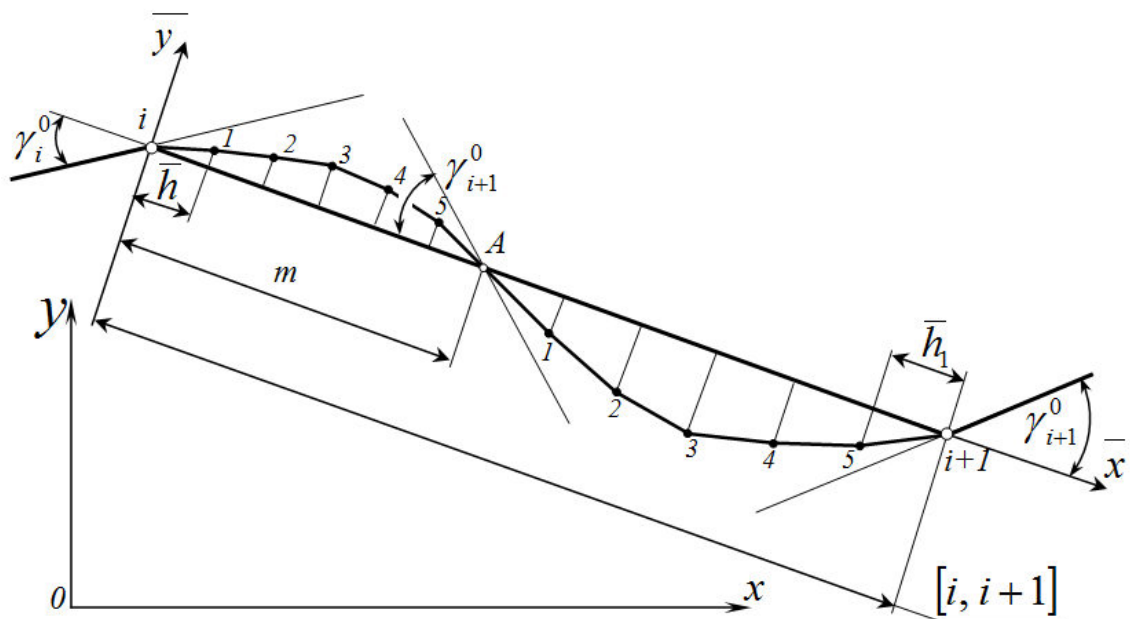


Рис.4. Схема згущення перехідної ділянки.

При обчислювальній реалізації запропонованого способу важливим є те, що перед тим як будувати точки згущення на перехідній ділянці, необхідно побудувати точки згущення на суміжних з нею (опуклих в тому чи іншому напрямку) ділянках згідно з описаних вище алгоритмом. При цьому необхідно здійснити узгодження кутів параметрів у вузлах ділянки перегину $(i, i + 1)$.

Висновки. Розглянуто адаптивний спосіб дискретної інтерполяції, що дозволяє розв'язувати прикладні задачі геометричного моделювання. Зокрема, основна увага була приділена розв'язуванню задачі згущення перехідних ділянок ДПК.

Література

1. *Найдиш В.М.* Адаптивна схема локального згущення точкового ряду з заданими у вузлах дотичними / *В.М. Найдиш, В.В. Спирінцев* // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(44). – Дніпропетровськ, 2006. – С.49-56.
2. *Спирінцев В.В.* Загальний обчислювальний алгоритм методу дискретної інтерполяції на основі заданого закону зміни кутів параметрів / *В.В. Спирінцев* // Прикл. геом. та інж. граф. Праці ТДАТУ – Вип.4, т. 44. – Мелітополь: ТДАТА, 2009. – с. 95-101.
3. *Найдиш В.М.* Загальний обчислювальний алгоритм методу дискретної інтерполяції на основі кутів / *В.М. Найдиш, А.В. Найдиш, В.О. Лебедєв* // Прикладна геометрія та інженерна графіка / Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 4. – Т. 31 – Мелітополь: ТДАТА, 2006. – С. 3–10.

4. *Щербина В.М.* Геометрическое моделирование спиралеобразных дискретно представленных кривых линий: Дисс. ... к-та. техн. наук/ *В.М. Щербина*// Мелітополь, ТДАТА, 2003, – 192с.
5. *Спиринцев В.В.* Визначення коефіцієнту керування згущеною СЛЛ ДПК /*В.В. Спиринцев*// Прикл. геом. та інж. граф. Праці ТДАТА – Вип.4, т. 34. – Мелітополь: ТДАТА, 2007. – с. 82-87.

СГУЩЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ УЧАСТКОВ ДПК НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО СПОСОБА ДИСКРЕТНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

В. В. Спиринцев

Аннотация - предлагается решение задачи сгущения переходного звена ДПК путем построения точек сгущения на основе адаптивного способа дискретной интерполяции.

CONDENSATION OF TRANSITIVE SITES DSC ON THE BASIS OF THE ADAPTIVE WAY OF DISCRETE INTERPOLATION

V. Spirintsev

Summary

The decision of a problem of a condensation of transitive link DSC by construction of points of a condensation on the basis of an adaptive way of discrete interpolation is offered.

УДК 004.925.8

АЛГОРИТМ КОМБІНАТОРНО-ВАРІАЦІЙНОГО ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДЕНИХ ОБВОДІВ

Вірченко Г. А., д.т.н.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Тел. (044) 406-82-51

Анотація – У даній публікації на прикладі застосування кривих другого порядку у векторній раціональній параметричній формі подано алгоритм комбінаторно-варіаційного геометричного моделювання складених обводів, окреслено відповідні перспективні напрямки проведення подальших наукових досліджень.

Ключові слова – комбінаторно-варіаційне формоутворення, криві другого порядку, складені обводи.

Постановка проблеми. Нині дієвим засобом покращення технічних виробів обґрунтовано вважаються спеціалізовані обчислювальні засоби у вигляді систем автоматизованого проектування. Базовою складовою останніх є комп'ютерне геометричне моделювання, що дозволяє не тільки якісно унаочнювати опрацьовувані об'єкти та процеси, а і здійснювати їх комплексну оптимізацію. У зв'язку з цим актуальними постають задачі подальшого вдосконалення методів, способів, прийомів та алгоритмів формоутворення з метою забезпечення більш продуктивного багатоаспектного аналізу великої кількості проектних варіантів створюваної промислової продукції.

Аналіз останніх досліджень. Науковою школою прикладної геометрії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» завжди приділялась особлива увага автоматизованому проектуванню технічних об'єктів. За останній час на основі виконаних досліджень сформовано новий напрямок структурно-параметричного геометричного моделювання [1], подальшим розвитком якого є комбінаторно-варіаційне формоутворення [2]. Прикладами практичного застосування зазначеного підходу слугують публікації [3] й [4], відповідно в галузі машинобудування та будівництва. У роботі [5] наведено засади математичного апарату

варіантного геометричного моделювання плоских обводів із використанням кривих другого порядку.

Формулювання цілей статті. Завдання даної праці полягає в описі запропонованого алгоритму комбінаторно-варіаційного формоутворення складених ліній.

Основна частина. Досить часто моделювання технічних виробів розпочинається з визначення на певних площинах потрібних окремих положень, тобто точок. У загальному вигляді останні подаються, наприклад, упорядкованою множиною

$$P = (P_i)_0^n, \quad (1)$$

де P_i – радіус-вектор i -ї точки у прямокутній системі координат Oxy , $n \in \mathbb{N}$.

З позицій комбінаторно-варіаційного підходу кортеж (1) можна інтерполювати або апроксимувати складеним обводом

$$L = (L_j)_1^m, \quad (2)$$

де L_j – деяка лінія, $1 \leq m \leq n$, $m \in \mathbb{N}$.

Нехай елементами множини (2) є дуги кривих другого порядку у векторній раціональній параметричній формі

$$L_j = \mathbf{r}_j(u_j) = \frac{(1-u_j)^2 \mathbf{r}_{0j} + w_{1j} 2u_j(1-u_j) \mathbf{r}_{1j} + u_j^2 \mathbf{r}_{2j}}{(1-u_j)^2 + w_{1j} 2u_j(1-u_j) + u_j^2}, \quad (3)$$

де \mathbf{r}_{0j} , \mathbf{r}_{1j} , \mathbf{r}_{2j} – радіуси-вектори вершин характеристичних трикутників, $w_{1j} \geq 0$ – вагові коефіцієнти для \mathbf{r}_{1j} , $u_j \in [0, 1]$ – параметри.

Оскільки довільний модельований обвід, який аналізується, за потреби ділиться на необхідне число опуклих частин, то надалі розглядатимемо саме їх.

Вважатимемо, що в кожній з точок P_i визначено бажані дотичні до створюваної складеної лінії першого порядку гладкості. Нехай, наприклад, це будуть відповідні кути нахилу α_i , змінювані згідно із залежністю

$$\alpha_i = \alpha_0 + (\alpha_n - \alpha_0) \cdot \frac{\sum_{k=1}^i l_k}{\sum_{k=1}^n l_k}, \quad (4)$$

де α_0 та α_n – кути в початковій та кінцевій точках, $l_k = |P_k - P_{k-1}|$.

Запропонований комбінаторно-варіаційний алгоритм містить наступні чотири пункти.

1. Спочатку кінці створюваних дуг (3) почергово збігаються з радіус-векторами (1) для побудови неперервного обводу з n елементів. Кількість вихідних точок, що пропускаються базовою поточною дугою, встановлюється рівною нулю.

Примітка. Надалі кінці всіх дуг теж визначаються кортежем (1),

а розташування інших вершин їх характеристичних трикутників обчислюється за допомогою кутів α_i співвідношення (4).

2. Зменшується поточне число елементів кортежу (2) на одиницю. Якщо воно стає нулем, то переходимо до пункту 4. Інакше кількість вихідних точок, що пропускається базовою поточною дугою, збільшується на одиницю та генеруються подальші комбінаторні варіанти складеного обводу шляхом ігнорування належного числа вихідних точок між кінцями створюваної базової поточної дуги, які почергово розташовуються починаючи з P_n та поступово рухаються аж до положення P_0 .

3. Перехід до пункту 2.

4. Завершення алгоритму.

Наведений порядок подає процес дефініції комбінаторних різновидів досліджуваного обводу. Для забезпечення побудови параметричних варіантів цієї складеної лінії крім виразу (4) можна використовувати й інші відповідні аналітичні та дискретні залежності, змінювання величин вагових коефіцієнтів w_{1j} і т. п. Наприклад, коли останні мають нульові значення, то проаналізоване формоутворення зводиться до варіантного моделювання ламаних.

Зауважимо, що за описаних вище умов кривою (3) інтерполюється максимум тільки три довільні вихідні точки. Більша їх кількість апроксимується на підставі викладеного в роботі [5] підходу.

Поданий алгоритм певною мірою є інваріантним до застосовуваних кривих. Так, зокрема, без змін залишається його комбінаторна частина в разі використання замість параметричних кривих другого порядку їх узагальнень у вигляді неоднорідних раціональних В-сплайнів [6]. При цьому з'являється можливість гнучкого варіантного геометричного моделювання не тільки плоских складених обводів другого та вищих порядків гладкості, а й відповідних просторових ліній.

Висновки. У даній статті запропоновано алгоритм комбінаторно-варіаційного формоутворення складених обводів, який проілюстровано на прикладі кривих другого порядку у векторній раціональній параметричній формі. Окреслено напрямки його подальшого удосконалення шляхом застосування, зокрема, неоднорідних раціональних В-сплайнів.

Література

1. Ванін В.В. Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Вип. 23. – Харків: ХДУХТ, 2009. – С. 42-48.
2. Ванін В.В. Застосування структурно-параметричного підходу як

- методології комп'ютерної комбінаторно-варіаційної геометрії / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, В.Г. Вірченко // Прикладна геометрія та інж. графіка. – Вип. 87. – К.: КНУБА, 2011. – С. 12-17.
3. *Ванін В.В.* Оптимальне варіантне геометричне моделювання технічних об'єктів / В.В. Ванін, В.Г. Вірченко // Прикладна геометрія та інж. графіка. – Вип. 89. – К.: КНУБА, 2012. – С. 22-27.
 4. *Ванін В.В.* Применение комбинаторно-вариационного подхода для компьютерного геометрического моделирования инженерных конструкций и сооружений / В.В. Ванин, С.Л. Шамбина, В.Г. Вирченко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – №4. – М.: ИПК РУДН, 2013. – С. 3-8.
 5. *Вірченко В.Г.* Комбінаторно-варіаційне моделювання обводів із використанням кривих другого порядку / В.Г. Вірченко // Прикладна геометрія та інж. графіка. – Вип. 91. – К.: КНУБА, 2013. – С. 46-52.
 6. *Роджерс Д.* Математические основы машинной графики: пер. с англ. / Д. Роджерс, Дж. Адамс. – М.: Мир, 2001. – 604 с.

АЛГОРИТМ КОМБІНАТОРНО-ВАРІАЦІОННОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТАВНЫХ ОБВОДОВ

Г.А. Вирченко

Аннотация - в данной публикации на примере применения кривых второго порядка в векторной рациональной параметрической форме представлен алгоритм комбинаторно-вариационного геометрического моделирования составных обвод, обозначены соответствующие перспективные направления проведения дальнейших научных исследований.

ALGORITHM FOR COMBINATORIAL-VARIATION GEO- METRIC MODELING OF STACKED CONTOURS

G. Virchenko

Summary

In this publication on example of the second-order curves in vector rational parametric form is given combinatorial-variation algorithm for geometric modelling of compound contours. The article presents the corresponding mathematical justification. The work also identified promising directions for further research.

УДК 514.18:528.7

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ОРТОГОНАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ

Корчинський В. М., д.т.н.,

Свинаренко Д. М., к.т.н.

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

Тел. (056) 765-42-32

Мацулевич О. Є., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-68-44

Анотація – Запропоновано метод підвищення якості растрових фотограмметричних зображень, що дозволяє збільшити просторову розрізненість первинних зображень.

Ключові слова – багатоспектральне зображення, просторова розрізненість, ортогоналізація, сигнальна ентропія, показники якості зображення.

Постановка проблеми. Однією з основних проблем оброблення видових даних дистанційного зондування, одержаних з аерокосмічних носіїв, є те, що ці дані мають різну просторову розрізненість. Зображення окремих спектральних каналів, отримані з одного апарату, можуть відрізнятися за цим показником у десятки разів. Тому постає проблема отримання усієї множини даних, що мали б найбільшу просторову розрізненість, з метою більш якісного тематичного аналізу в автоматизованих системах.

Аналіз останніх досліджень. На даний час відома низка способів підвищення якості цифрових даних стосовно розподілів яскравості растрових зображень [1 - 3]. Усі вони розвинені без урахування специфіки видових даних дистанційного зондування, забезпечення збереження геометричних структур первинних видових даних в зображеннях. Це зумовлює актуальність розроблення нових способів попередньої обробки цифрових аерокосмічних зображень з урахуванням зазначених факторів.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розроблення нового методу обробки растрових зображень дистанційного зондування, що базується на різних алгоритмах ортогоналізації даних

та дозволяє покращити якісні показники зображень.

Основна частина. З позицій прикладної геометрії багатоспектральне растрове зображення, подане на прямокутній решітці $N \times M$ пікселів, може бути представлено у вигляді множини векторів, що належать евклідовому простору \mathbf{R}^K , де $K = N \cdot M$. Далі множину цих векторів позначаємо через $\{\mathbf{e}_k : k = \overline{1, S}\}$, де S – кількість фіксованих спектральних каналів. Прийmemo, що зображення з найвищою просторовою розрізненістю (тобто отримане найбільш короткохвильовому спектральному інтервалі проміння – носія видової інформації) подається вектором \mathbf{e}_1 цього простору.

Загальний обсяг подання вихідного цифрового фотографічного зображення з 256-ма рівнями яскравості на піксел у загальному випадку дорівнює $N \cdot M \cdot K \cdot n$ біт, де K – кількість спектральних каналів, n – кількість двійкових розрядів, якою кодуються рівні яскравості пікселів. З урахуванням характеристик сучасних сенсорних пристроїв дистанційного зондування Землі з аерокосмічних носіїв використання усього обсягу первинних видових даних з позицій ідентифікації геометричних форм візуалізованих об'єктів є надлишковим. Це зумовлює актуальність розроблення методів редукції (зменшення) вимірності вихідних видових даних до рівня, достатнього для досягнення заданого рівня достовірності розпізнавання.

Один із способів такої редукції забезпечується на основі методу головних компонент [4]. У даній статті викладені альтернативні способи ортогоналізації багатовимірних векторів, які подають розподіли яскравості окремих спектральних каналів багатоспектральних зображень. Достоїнством ортогоналізації є декореляція цих розподілів, що забезпечує можливість незалежного оброблення відповідних зображень з наступним синтезом утвореного у такий спосіб «штучного» багатоспектрального зображення з підвищеними інформаційними показниками. Крім того методи ортогоналізації дозволяють здійснити стиснення даних, за тиском шумів та ін. Зазначимо у цьому зв'язку, що метод головних компонент забезпечує лише часткову ортогоналізацію розподілів яскравості зображень спектральних каналів – складових первинного багатоспектрального зображення [5, 6].

У лінійній алгебрі розвинені декілька способів ортогоналізації множин векторів, заданих у багатовимірних просторах. Найбільш поширені серед них – процес Грама-Шмідта, метод «відбиття» Хаусхолдера, метод «обертання» Гівенса [7].

Суміщення первинних зображень на основі процесу ортогоналізації Грама-Шмідта реалізується побудовою на основі

множини K - вимірних векторів $\{\mathbf{e}_k : k = \overline{1, S}\}$ множини попарно ортогональних векторів $\{\mathbf{u}_k : k = \overline{1, S}\}$ з наступною заміною вектора \mathbf{u}_1 вектором \mathbf{e}_1 та оберненим перетворенням.

Традиційна реалізація процесу ортогоналізації векторів передбачає їхню одночасну нормалізацію, тобто виконання умови $\|\mathbf{u}_n\| = 1, n = \overline{1, S}$ (тут і далі подвійні прямі дужки позначають норму відповідного вектора).

Пропонується узагальнений спосіб процесу ортогоналізації Грама-Шмідта без вимоги нормалізації отримуваних векторів, який подається співвідношеннями

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_1 &= \mathbf{e}_1; \\ \mathbf{u}_k &= \mathbf{e}_k - \sum_{i=1}^{k-1} \frac{(\mathbf{u}_i \cdot \mathbf{e}_k)}{\|\mathbf{u}_i\|} \cdot \mathbf{u}_i; \quad k = \overline{2, S}, \end{aligned} \quad (1)$$

де дужками позначено скалярні добутки векторів. Надалі вектор \mathbf{u}_1 замінюється вектором, утвореним з панхромного зображення, чи зображення, отриманого у діапазоні з найкоротшою довжиною хвилі проміння, та здійснюється обернене перетворення.

Другий запропонований метод ортогоналізації вихідних видових багатоспектральних даних базується на відомому у лінійній алгебрі QR-поданні матриць. Підставою для використання такого підходу є подання розподілів яскравості растрових зображень, одержаних у різних спектральних інтервалах проміння - носія видової інформації у вигляді двовимірних масивів числових даних (рівнів яскравості). Кожний з них упорядковується по стовпцях, на основі яких формується матриця з розмірністю $NM \times K$, де $N \times M$ - вимірність растрових зображень, отриманих у різних спектральних діапазонах, K - кількість цих діапазонів. Далі здійснюється QR-перетворення сформованої матриці, у результаті чого вона подається у вигляді добутку матриць $\mathbf{Q}_{NM \times K}$ та $\mathbf{R}_{K \times K}$. Відмітимо, що стовпці матриці $\mathbf{Q}_{NM \times K}$ попарно ортогональні. Після цього перший стовпець матриці $\mathbf{Q}_{NM \times K}$ замінюється упорядкованим зазначеним способом масивом рівнів яскравості зображення, отриманого у діапазоні з найкоротшою довжиною хвилі проміння - носія видової інформації, з наступним оберненим QR-перетворенням.

На рисунку 1 представлено первинне зображення одного зі спектральних каналів (червоного) багатоспектрального зображення (подано в тонах сірого). На рисунках 2-4 відповідно зображення червоного каналу після здійснення прямого та оберненого перетворення за методом головних компонент, ортогоналізацією

Грама-Шмідта та QR-перетворенням.



Рис. 1. Первинне зображення.



Рис. 2. Зображення, отримане за застосування методу головних компонент.



Рис. 3. Зображення, отримане за застосування ортогоналізації Грама-Шмідта.



Рис. 4. Зображення, отримане за застосування QR-перетворення.

В таблиці 1 подані значення сигнальної ентропії відповідних зображень [8] та рівня адаптації зорової системи (LQ).

Таблиця 1

Показник	Зображення Рис. 1	Зображення Рис. 2	Зображення Рис. 3	Зображення Рис. 4
Ентропія	6.7837	6.1623	7.2117	7.2030
LQ	0.8148	0.8148	0.9194	0.8410

В таблиці 2 подані значення наступних, найпоширеніших об'єктивних показників якості зображень [9, 10] (для пар зображень - первинного та отриманого за застосування одного з методів

ортогоналізації):

AD – середня різниця, NK – нормована кореляція, CQ – якість кореляції, MD – максимальна різниця, IF – точність зображення, MSE – середньоквадратична похибка, PMSE – максимальна середньоквадратична похибка, NAE – нормована абсолютна похибка, NMSE – нормована середньоквадратична похибка, SNR – відношення сигнал/шум, PSNR – максимальне відношення сигнал/шум.

Таблиця 2

	Зображення Рис.1- Зображення Рис.2	Зображення Рис.1- Зображення Рис.3	Зображення Рис.1- Зображення Рис.4
AD	0.5893	3.4679	0.7997
NK	1.0304	0.7626	0.9722
CQ	148.6480	110.0163	140.2579
MD	104	113	143
IF	0.9883	0.9314	0.9842
MSE	0.5893	3.4679	0.7997
PMSE	9.0621e-06	5.3332e-05	1.2298e-05
NAE	0.0928	0.2528	0.1052
NMSE	0.0117	0.0686	0.0158
SNR	19.3345	11.6369	18.0084
PSNR	-1.6135	-9.3111	-2.9396

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отримані результати дозволяють усвідомити переваги одного з варіантів ортогоналізації за інформаційними критеріями. Перспективи подальших досліджень за проблематикою роботи пов'язані з узагальненням запропонованих методів ортогоналізації та дослідженнями можливостей сингулярного розкладу.

Література

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – Москва: Техносфера, 2006. – 616 с.
2. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В. А. Сойфера. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
3. Бузовский О. В. Компьютерная обработка изображений / О. В. Бузовский, А. А. Болдак, М. Х. Мохаммед Руми. – К.: Корнійчук, 2001. – 180 с.
4. Свинаренко Д.М. Класифікація геометричних форм растрових проєкційних зображень дистанційного зондування землі на основі їхніх головних компонент / Д.М. Свинаренко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Випуск № 85. – К.:КНУБА, 2010. – С. 301-305.

5. *Faugeras O.* The Fundamental Matrix: Theory, Algorithms, and Stability Analysis / Q. Luong, O. Faugeras. // International Journal of Computer Vision. - 1996. № 17 (1). - P. 43-76.
6. *Баландин М.Ю.* Методы решения СЛАУ большой размерности / М.Ю.Баландин, Э.П.Шурина. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 72 с.
7. *Гельфанд И.М.* Лекции по линейной алгебре / И.М.Гельфанд. – М.: Наука, 1974. – 272 с.
8. *Корчинський В.М.* Інформативність афінно-інваріантної геометричної моделі проєкційних зображень в їх морфологічному аналізі / В.М.Корчинський // Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів / Праці сьомої Всеукраїнської міжнародної конференції (UkrObraz'2004). – К.: Ін-т кібернетики НАН України, 2004. – С.53-56.
9. *Мирошников М.М.* Дальнейшее развитие методологических основ иконоки / Мирошников М.М., Нестерук В.Ф.// Труды ГОИ им. С.И.Вавилова. – т.64, вып. 198. – Л. – 1987. – С. 5 – 11.
10. *Шлихт Г.Ю.* Цифровая обработка цветных изображений. / Шлихт Г.Ю. //– М., Издательство ЭКОМ, 1997. – 336 с.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ

В. М. Корчинский , Д. Н. Свиноренко , А. Е. Мацулевич

***Аннотация* - предложены методы повышения качества растровых фотограмметрических изображений, позволяющие увеличить пространственное разрешение первичных изображений.**

METHODS OF INCREASING INFORMATION CHARACTERISTICS OF MULTISPECTRAL IMAGES BASED ON DATA ORTHOGONALIZATION

V. Korchinsky, D. Svinarenko, A. Matsulevich

Summary

The new methods of improving the quality of photogrammetric raster images, thus increasing spatial resolution of the original images is offered.

ЗМІСТ

**МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА****МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ
ТОЧКИ ПО ПЛОСКОЙ КРИВОЙ..... 3***Булгаков В. М., Пилипака С. Ф., Захарова Т. Н., Адамчук О. В.***АНАЛІЗ (ПАРАМЕТРИЧНИХ) КОЛИВАНЬ ВІБРОПЛУГА У
ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ..... 16***Ловейкін В. С., Човнюк Ю. В., Дяченко Л. А.***МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВІДНОСНОГО РУХУ
НАПІВНАВІСНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ЗБИРАННЯ РИЦИНИ..... 23***Леженкін О. М., Рубцов М. О., Головін С. В.***СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ БІОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
КОМПОНЕНТІВ ОБЧЕСАНОГО ВОРОХУ ЗЕРНОВИХ..... 31***Кюрчев С. В., Леженкін І. О.***ВТОМА НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПОКОВОК..... 37***Буніна Л. М.***ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ УЩІЛЬНЮЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ПАЛИВНИХ НАСОСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ ДИЗЕЛІВ В
СЕРЕДОВИЩІ БІОПАЛИВА..... 43***Журавель Д. П., Коломоєць В. А.***ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО
КОЛЕСА ТУРБОКОМПРЕССОРА..... 48***Гавриленко Е. А., Холодняк Ю. В.***ТЕПЛОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАРБУЗІВ, КАБАЧКІВ,
КУКУРУДЗИ МОЛОЧНОЇ СПІЛОСТІ І СОЛОДКОГО ПЕРЦЮ ТА
ЇХ ПРОГНОЗУВАННЯ..... 54***Ялпачик В. Ф.***ПРОЕКТУВАННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ ФРЕЗИ ДЛЯ
ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ..... 61***Дідур В.А., Мінько С. А.*

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ

- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ
РАСПОЗНАВАНИЯ ВЕЙВЛЕТ-ОБРАЗА ИСКАЖЕННОГО
НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО СИГНАЛА** 66
Лежнюк П. Д., Мирошник А. А.
- ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ
СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН**..... 74
Фурман І. О., Піскарьов О. М.
- АЛГОРИТМ ТРАНСЛЯЦИИ ТАБЛИЧНОГО КОДА VHDL В
СИНТЕЗИРУЕМЫЙ ТЕКСТОВЫЙ HDL-КОД** 78
Малиновский М. Л., Конищева А. П., Аленин Д. А.
- КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ НА
ОСНОВІ ПРЯМОГО СПАЛЮВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ МАСИ**..... 86
Діордієв В. Т., Кашкарьов А. О.
- ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ ПРИВОДУ МАЛОГАБАРИТНОГО
ҐРУНТООБРОБНОГО МОТОБЛОКУ** 94
Куценко Ю. М., Ковальов О. В.
- ОБҐРУНТУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ В
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВАХ** 100
Куценко Ю.М.
- МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО
ФОНУ У ЗАМКНеноМУ ПРОСТОРІ СТИМУЛЯТОРІВ
ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ** 108
Діордієв В. Т., Кашкарьов А. О., Новіков Г. В.
- КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ**..... 117
Овчаров В. В., Овчаров С. В., Стребков А. А.
- ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ
АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ШЛЯХИ ЇХ
ВПРОВАДЖЕННЯ** 125
Борохов І. В.

ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА

**РОЗВ'ЯЗАННЯ ІЗОПЕРИМЕТРИЧНОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ
ЗАМКНЕНОЇ ЛОМАНОЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРЕМИ ПРО ТРИ
СИЛИ 130**

Величко І. Г., Іщенко О. А.

**ВІДНОВЛЕННЯ КРИВОЇ ЗА ЇЇ НОРМАЛЯМИ В СИСТЕМІ
ТОЧОК 134**

Величко О. В., Малкіна В. М.

**СПОСІБ ДИСКРЕТНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ СПІРАЛЕПОДІБНИХ
ДПК У ПОЛЯРНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ З ВРАХУВАННЯМ
ВНУТРІШНЬОЇ ГЕОМЕТРІЇ КРИВОЇ..... 139**

Мацулевич О. Е., Щербина В. М.

**ЗГУЩЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ДІЛЯНОК ДПК НА ОСНОВІ
АДАПТИВНОГО СПОСОБУ ДИСКРЕТНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ.... 143**

Спірінцев В. В.

**АЛГОРИТМ КОМБІНАТОРНО-ВАРІАЦІЙНОГО
ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДЕНИХ
ОБВОДІВ..... 149**

Вірченко Г. А.

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ
БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ
ОРТОГОНАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ 153**

Корчинський В. М., Свинаренко Д. М., Мацулевич О. Є.

Наукове фахове видання

Праці

Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 14 . Том. 2

Свідоцтво про державну реєстрацію

Міністерство юстиції

13503-2387 ПР від 03.12.2007 р.

Відповідальний за випуск – д.т.н., проф. Діордієв В.Т.

Підписано до друку 10.10.2014 р. друк Rizo. Друкарня ТДАТУ.
10,2 умов. друк. арк. тираж 100 прим.

73312 ПП Верескун.

Запорізька обл., м. Мелітополь, вул. К. Маркса, 10

тел. (06192) 6-88-38