



Міністерство освіти і науки України
Миколаївська обласна державна адміністрація
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
Національний технічний університет України „КПІ”
Миколаївський національний аграрний університет



ПЕРСПЕКТИВНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ - 2016

МАТЕРІАЛИ

**XII-ї Міжнародної науково-практичної конференції
молодих учених, аспірантів і студентів
м. Миколаїв, 20-22 вересня 2016 року**

PROSPECTIVE TECHNICS AND TECHNOLOGIES – 2016

MATERIALS

**XII-th International Scientific and Practikal Conference of
Young Scientists, Post–Graduate Students and Students
«Advanced Equipment and Technologies», 2016**

Mykolaiv, 20-22 september 2016

**2016, Mykolaiv national agrarian university. Faculty of Engineering
and Energy**

**Миколаїв
2016**

УДК 631.3:338.43
ББК 3+65.32-4
П27

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету. Протокол № 2 від 31.10.2016 р.

Редакційна колегія:

Головний редактор: Д.В. Бабенко, к.т.н., професор

Заступники головного редактора:

В.І. Гавриш, д.е.н., к.т.н., професор

А.А. Ставинський, д.т.н., професор

Л.В. Вахоніна, к.ф.-м.н., доцент

К.М. Горбунова, к.пед.н., доцент

Г.О. Іванов, к.т.н., доцент

О.О. Плахтир, к.т.н., доцент

Відповідальний секретар: Д.Д. Марченко, к.т.н., доцент.

Перспективна техніка і технології – 2016 : матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 20-22 вересня 2016 р., м. Миколаїв / Міністерство освіти і науки України; Миколаївський національний аграрний університет. – Миколаїв : МНАУ, 2016. – 234 с.

УДК 631.3:338.43
ББК 3+65.32-4
П27

Зареєстровано в УкрІНТЕІ,
посвідчення №87, від 16.12.2015 р.

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2016

ОРГКОМІТЕТ

Президія оргкомітету

Голова:

- **В.С. Шебанін** – д.т.н., професор, ректор Миколаївського національного аграрного університету.

Співголови:

- **О.Є. Новіков** – д.е.н., професор, проректор з наукової роботи Миколаївського національного аграрного університету;
- **М.І. Чорновол** – д.т.н., професор, ректор Кіровоградського національного технічного університету;
- **К.М. Горбунова** – к.пед.н., доцент, в.о. декана інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету;
- **О.В. Піскун** – в.о. директора, заступник директора департаменту агропромислового розвитку Миколаївської обласної державної адміністрації.

Склад організаційного комітету

Члени організаційного комітету:

- **А.І. Бойко** – д.т.н., професор, завідувач кафедри надійності техніки Національного університету біоресурсів і природокористування України;
- **Євген Красовський** – д.т.н., професор кафедри мобільних машин і двигунів Люблінської сільськогосподарської академії (м. Люблін, Польща);
- **Р.Ю. Соловйов** – к.т.н., доцент, замісник директора з наукової роботи Всеросійського науково-дослідного технологічного інституту ремонту і експлуатації машино-тракторного парку (м. Москва, Росія);
- **А.І. Свірідьонк** – д.т.н., професор, головний редактор журналу «Трение и износ» науково-дослідного центру проблем ресурсозбереження НАН Білорусії (м. Гродно, Білорусь);
- **Арвідас Вільде** – д.т.н., професор, завідувач кафедри інженерного факультету Латвійського сільськогосподарського університету (м. Елгава, Латвія);
- **Л.В. Вахоніна** – к.ф.-м.н., доцент, заступник декана з навчальної роботи інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету.

Відповідальний секретар організаційного комітету:

- **Д.Д. Марченко** – к.т.н., доцент, заступник декана з наукової роботи інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету

The Presidium of the Organization Committee

The Head of the Committee:

- **V.S. Shebanin** – Doctor of Technical Sciences, Professor, President of the Mykolayiv National Agrarian University.

Subheads of the Committee:

- **O.E. Novikov** – Doctor of Economics, Professor, Vice-president of scientific work of the National Agrarian University;
- **M.I. Chornovol** – Doctor of Technical Sciences, Professor, President of the Kirovograd National Technical University;
- **K.M. Gorbunova** - candidate of pedagogical sciences, associate professor, Acting Dean of the Faculty of Engineering of the energy Mykolayiv State Agrarian University;
- **A.V. Piskun** - Acting Director, Deputy Director of the Agricultural Development of the Mykolaiv Regional State Administration.

The Staff of the Organization Committee

The Members of the Organization Committee:

- **A.I. Boyko** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of safety equipment of the National University of biological resources and the use of natural Ukraine;
- **Eugene Krasovsky** - Ph.D. in Technology, Professor, Department of mobile machines and engines Lublin Agricultural Academy (c. Lublin, Poland);
- **R.Y. Solovyov** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Science of the Russian Research Institute of Technology, repair and maintenance of machines and tractors (c. Moscow, Russia);
- **A.I. Sviridonok** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief editor of "Friction and wear" Research Center of Resources Saving Problems of NAS of Belarus (c. Grodno, Belarus);
- **Arvydas Wilde** - Ph.D. in Technology, Professor, Head of the Faculty of Engineering, University of Agriculture of Latvia (c. Jelgava, Latvia);
- **L.V. Vakhonin** - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Dean for Academic Affairs, Faculty of Engineering and Energy Mykolayiv State Agrarian University.

The Executive Secretary of the Organization Committee:

- **D.D. Marchenko** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Dean for Research, Engineering and Energy Department Mykolayiv State Agrarian University.

УДК 678.073.661.481

**ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ
НАНОКОМПОЗИТОВ**

Е. Ф. Кудина, кандидат технических наук, доцент

Г. Г. Печерский, кандидат технических наук, доцент

Н. С. Полещук, кандидат технических наук, доцент

*ГНУ «Институт механики систем им. В. А. Белого НАН
Беларуси»*

В статье приведены результаты исследований оптимального состава силикатно-полимерного раствора, обладающего высокой стабильностью и длительным временем начала гелеобразования, а также достаточно высокой прочностью сформировавшегося на его основе геля, чтобы выдерживать значительные градиенты давления. Установлено, что увеличение содержания кислоты в бинарной системе коррелирует со снижением ТГО и возрастанием прочности.

Ключевые слова: гелеобразование, гомогенные гели, модификация, нанокompозит.

В настоящее время развитие нефтедобывающего комплекса характеризуется рядом проблем, обусловленных трудностью извлечения остаточных запасов и увеличением обводненности нефти [1]. Нефть в основном залегают в сложнопостроенных трещиноватых коллекторах и извлекается с использованием системы поддержания пластового давления при искусственном водонапорном режиме, в результате чего повышается обводненность сырой нефти. Поэтому на многих месторождениях проводятся работы по закупориванию каналов в основном за счет закачивания гелевых, осадкообразующих и вяжущих композиций, составляющих основу потокоотклоняющих технологий [1-4]. Проведение

данных работ позволяет увеличить реальные дебиты нефти за счет снижения ее обводненности.

Основными причинами низкой эффективности заводнения являются: капиллярные силы, удерживающие в пористой среде нефтяных пластов 20-45% нефти, а также неравномерное вытеснение нефти водой из неоднородных пластов, в результате чего в низкопроницаемых пластах и пропластках остается значительное количество нефти. Капиллярно удерживаемую нефть вытесняют с помощью растворов поверхностно-активных веществ и композиций на их основе. Степень извлечения нефти из неоднородных пластов можно увеличить, если снизить проницаемость водопроводящих высокопроницаемых каналов, что достигается путем генерирования в них различных тампонирующих масс (осадков, гелей, закачки суспензий глинистых частиц и т.п.). Прекращение фильтрации воды через высокопроницаемые каналы приводит к перераспределению фильтрационных потоков в пласте и вытеснению плохо дренированных запасов нефти. Для повышения нефтеотдачи известно много способов и составов, однако высокую технологическую и экономическую эффективность показали только следующие потокоотклоняющие технологии: полимерные системы; осадко-гелеобразующие составы; полимер-дисперсные системы.

При этом используются изоляционные составы:

- гелеобразующие: силикатные и полимерные гели;
- тампонажные: кремнийорганические соединения и синтетические смолы;
- цементы: пластификаторы (повышение подвижности), понизители водоотдачи (повышение седиментационной устойчивости), расширяющие добавки.

Промысловый опыт показал, что наиболее эффективной технологией для ограничения водопритока по сравнению с применением стандартных тампонажных растворов [1, 5-9] является использование гелеобразующих

композицій. Гелеобразующие композиции представляют собой, до реакции гелеобразования, растворы близкие по вязкости к воде, и эффективность достигается за счет глубокого проникновения в пласт.

Наиболее перспективным направлением для снижения обводненности добывающих скважин и увеличения нефтеотдачи пластов, разрабатываемых с использованием заводнения, в настоящее время является применение силикат-полимерного геля. В основе технологии заложено блокирование высокопроницаемых обводненных зон и трещин неоднородного пласта гелем, образующимся в результате последовательной закачки в пласт оторочек пресной воды, силикатного раствора и гелеобразующей композиции с выдержкой последнего до образования геля с дальнейшим вводом скважины под нагнетание. При применении данной технологии устраняется прорыв воды к добывающим скважинам, вовлекаются в разработку низкопроницаемые участки пласта. Технология может быть реализована на месторождениях, заводняемых пресной или слабоминерализованной водой и со средней приемистостью скважины не менее 500 м³/сут.

Большой интерес представляет селективная закупорка высокопроницаемых обводненных или поглощающих пористых сред силикатами (низкомодульное, высокомодульное и порошкообразное) и их композициями с регулируемыми свойствами, образующихся гелей в пласте и регулируемым временем гелеобразования. Коллоидные кремнеземы представляют собой дисперсные системы с содержанием оксида кремния в количестве 20-40 вес.% и размером частиц от 7 до 200 нм, в любом соотношении смешиваются с пресной водой, обладая при этом низкой первоначальной вязкостью (от 1,5 до 150 мПа·с), образуя гели под влиянием тех или иных факторов. Химические свойства кремнезема характеризуются большой реакционной способностью как из-за большой поверхности, так и в связи с высокой аморфностью кремнезема в дисперсной фазе. Особую группу составляют реакции взаимодействия

частиц золя непосредственно между собой или с связующими агентами. Силикаты - доступное сырье, нетоксичны, экологически безвредны.

Основная задача исследований в данном направлении состоит в разработке оптимального состава силикатно-полимерного раствора, обладающего высокой стабильностью и длительным временем начала гелеобразования, а также достаточно высокой прочностью сформированного на его основе геля, чтобы выдерживать значительные градиенты давления. При этом также необходимо учитывать и такие факторы, как эффективность действия гелеобразующего состава, расширение возможностей его применения (температурный диапазон и степень минерализации пластовых вод) и стоимость.

В связи с вышеизложенным целью данной работы являлось разработать составы на основе раствора силиката натрия, позволяющие получать стабильные системы, образующие гомогенные гели при повышенных температурах и фиксированных интервалах времени для получения материалов, повышающих нефтеотдачу нефтяных месторождений.

Объектами исследования являлись композиции на основе водного раствора силиката натрия – жидкого натриевого стекла (ЖС, $n=2,9$) и модификаторов: кислот – неорганических (соляная, серная, фосфорная) и органических (малеиновая (МК), янтарная (ЯК), акриловая (АК) и уксусная (УК)) и трехатомного спирта глицерина (ГЛ). Реагенты совмещали в определенных соотношениях и последовательности. Готовые композиции подвергались термической обработке при $T=65\pm 2^\circ\text{C}$ или $T=75\pm 2^\circ\text{C}$, при которой проводилось измерение ТГО – время, по истечению которого раствор теряет текучесть. Прочность полученных гелей измерялась через 24 часа после их образования пенетрацией. Реологические свойства определяли в условиях возрастающей скорости деформации на ротационном вискозиметре «Реотест-2».

Таблица 1

Влияние модифицирования ЖС на свойства образующихся гелей

Кислота	Концентрация* кислоты	ТГО при T=65±2°C, мин.	Прочность геля, кН/м ²
HCl (pK _a = -7)	1,15	30	<3,6
	1,37	15	<3,6
	1,80	5	9,8
H ₂ SO ₄ (pK _a = -3)	0,09	120	<3,6
	0,11	60	5,4
	0,12	10	9,8
H ₃ PO ₄ (pK _a = 2,12)	0,39	200	<3,6
	0,45	45	6,2
	6,50	2	9,8
МК (pK _{a1} = 1,92; pK _{a2} = 6,23) HOOCCHCOOH	0,89	50	3,6
	2,30	5	21,7
	3,16	2	49,4
ЯК (pK _{a1} = 4,2; pK _{a2} = 5,64) HOOCCH ₂ CH ₂ COOH	0,89	420	<3,6
	1,27	180	4,5
	1,34	60	8,0
АК (pK _a = 4,26) CH ₂ CHCOOH	0,45	15	<3,6
	1,80	1	11,6
	7,38/7,38**	2/210	10,6/109,0
УК (pK _a = 4,75) CH ₃ COOH	1,26	200	6,2
	1,44	12	21,7
	1,62	8	32,8
ГЛ (pK _a = 9,26) HOCH ₂ CHONCH ₂ OH	Стабильный р-р, гель не образуется		

* – концентрация кислоты (безводной) приведена в расчете на 4,5 г дегидратированного ЖС

**– при введении инициатора реакции (Инр)

Исследования показали, что все выбранные реагенты, за исключением глицерина, при определенных концентрациях в ЖС способны образовывать гомогенные гели (табл.1). Однако введение кислоты уже в количестве 0,1% может вызывать быстрое гелеобразования раствора. Экспериментально установлено, что увеличение содержания кислоты в бинарной системе коррелирует со снижением ТГО и возрастанием прочности. Прочность образующихся гелей оказывается наибольшей при действии более слабых органических кислот.

Поэтому, учитывая комплексное воздействие (высокая прочность при ТГО более 1,5-2 ч) изученных кислот на свойства водных растворов ЖС, для дальнейшего исследования были выбраны УК и АК. Проведенные исследования влияния глицерина на свойства совмещенных композиций показали, что компонент хорошо совмещается как с ЖС, так и кислотами. Кроме этого испытания на морозоустойчивость исследуемых систем свидетельствуют, что совмещенные растворы ЖС–УК замерзают при $t=-2^{\circ}\text{C}$, тогда как введение глицерина позволяет расширить диапазон до $t=-10^{\circ}\text{C}$, что позволяет использовать системы ЖС–УК–ГЛ при более низких температурах.

При проведении реодинамических исследований было отмечено, что после смешения компонентов система в течение некоторого времени остается неизменной, затем отмечается быстрое повышение вязкости раствора, которое заканчивается отверждением. Процесс гелеобразования ускоряется с повышением температуры. Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что рассматриваемые системы являются достаточно структурированными, т.к. течение начинается по достижении некоторого определенного значения напряжения сдвига $\tau_t > 0$. Однако характер изменения реологических кривых в значительной степени зависит от концентрации УК и температуры раствора. На рис.1 представлены кривые $\eta=f(D_t)$ гелеобразующих растворов на основе ЖС.

Для изучаемых систем отмечается волнообразный вид кривых, что свидетельствует о сложности процессов разрушения и восстановления структуры, протекающих в динамических условиях при постоянном увеличении напряжения сдвига. На всех кривых течения при низких скоростях сдвига наблюдаются ярко выраженные максимумы.

Установлено, что увеличение концентрации модификаторов приводит к структурированию системы и повышению вязкости. Резкое возрастание вязкости является следствием формирования адсорбционно-сольватных оболочек на образующихся в бинарных растворах кремнеземных частицах, а также кислотно-основным взаимодействием компонентов. При наличии в структуре полученных систем относительно рыхлых агрегатов со слабыми межчастичными связями с увеличением напряжения сдвига происходит их разрушение. Поскольку при дальнейшем увеличении напряжения сдвига условия для перестройки структуры отсутствуют, вязкость систем начинает понижаться. На кривых течения после максимума наблюдается падение вязкости вследствие разрушения структуры с выходом на практически горизонтальный участок, соответствующий вязкости предельно разрушенной структуры. То, что структурный фактор оказывает влияние при низких скоростях деформации, свидетельствует о том, что исследуемые золи могут рассматриваться как слабоагрегированные системы.

На рис. 2 приведена зависимость прочности гелей, сформированных из системы ЖС–УК–ГЛ от содержания модификаторов в композиции.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что оптимальными концентрациями ГЛ, с точки зрения максимального увеличения прочности гелей, в композиции является 10,0 – 11,5%. Дальнейшее повышение или понижение концентрации ГЛ не приносит желаемого результата и снижает прочность образующихся гелей. Введение кислоты в количестве более 1,1% ведет к резкому росту прочности гелей. Однако, увеличение концентрации УК.

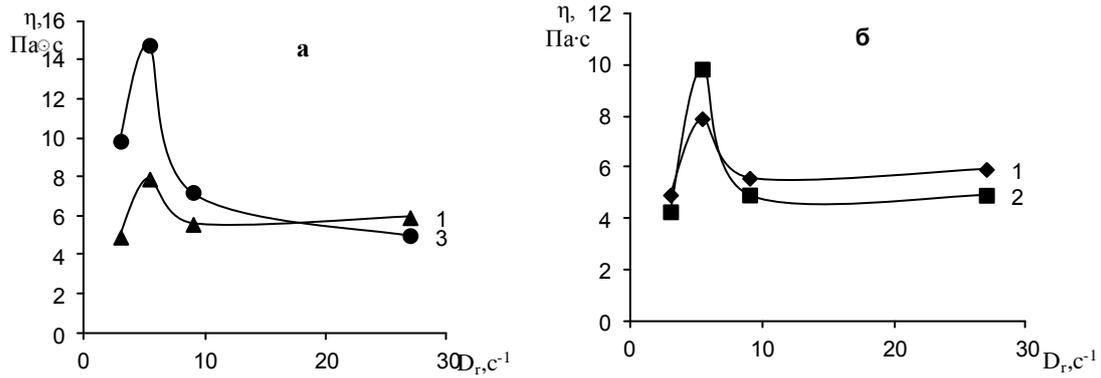


Рис. 1. Зависимость вязкости от скорости деформации и соотношения реагентов совмещенных систем:

1 - ЖС/ГЛ/УК (2/8/0,56); 2 - ЖС/ГЛ/УК (2/8/0,6);

3 - ЖС/ГЛ/УК (2/10/0,56); $t = 65 \pm 2^\circ\text{C}$

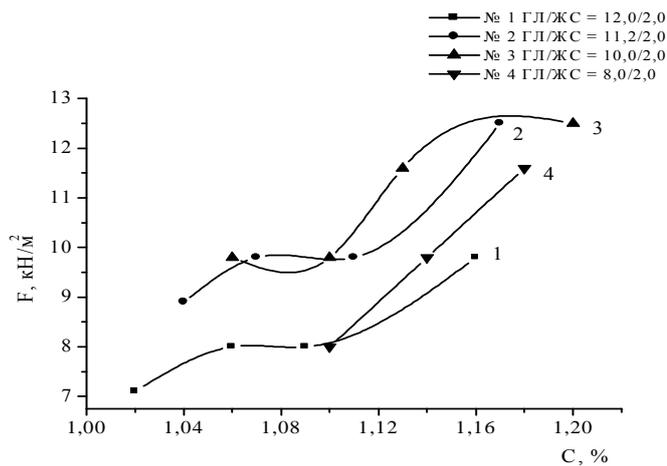


Рис. 2. Зависимость прочности составов от содержания уксусной кислоты в композиции ЖС–УК–ГЛ

При увеличении концентрации УК выше 1,12% происходит резкое снижение ТГО до 1–2 мин. после совмещения исходных компонентов. Такая зависимость ТГО от концентрации УК связана с ростом полимеризации ЖС при увеличении концентрации УК и рН систем. Следует отметить, что структурирующим фактором в исследуемых системах является концентрация УК, а ГЛ играет роль стабилизатора

системы ЖС–УК при определенных концентрациях структурирующего агента.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что органоминеральные системы на основе ЖС–УК–ГЛ могут быть использованы в качестве базовых составов для получения стабилизированных совмещенных систем с низкой вязкостью и способных образовывать гомогенные прочные гели при $T=65\pm 2^\circ\text{C}$.

Модифицирование ЖС акриловой кислотой позволило получить высокоэластичные гели, способные к восстановлению формы после механической деформации. Нанофазовая структура полученных гелей представлена на рис. 3.

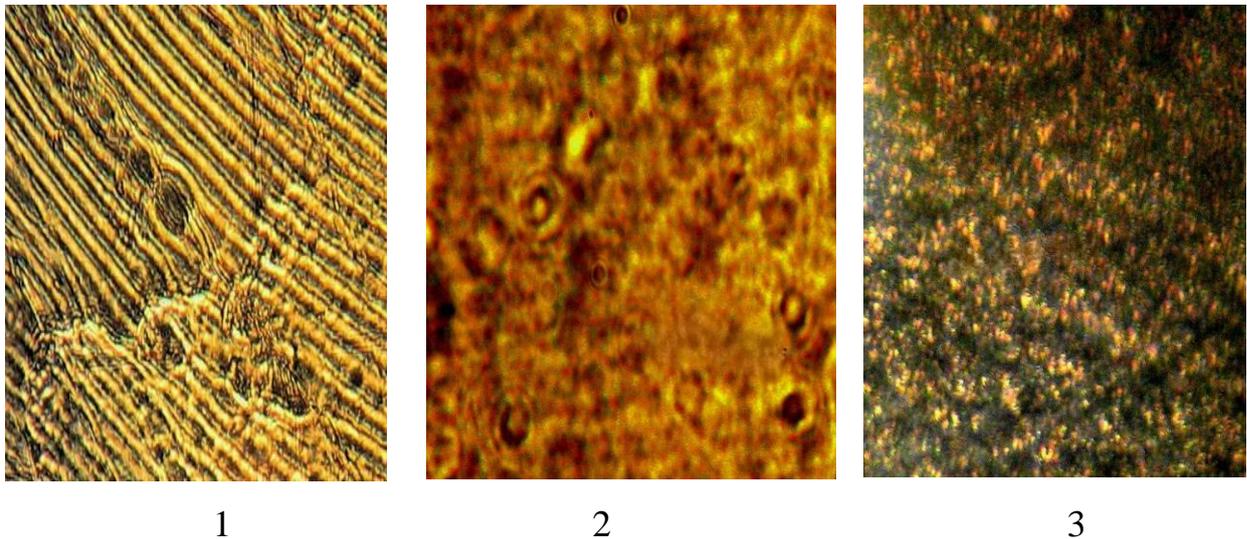


Рис. 3. Структура гелей, полученных из систем ЖС–УК (1), ЖС–УК–ГЛ (2), ЖС–АК (3)

Из акрилосиликатных систем формируются гидрофобные гели и при контакте с пластовой водой ($\rho=1,15 \text{ г/см}^3$) при температурах $T=60\text{--}90^\circ\text{C}$. Физико-механические свойства гелей, полученных на основе совмещенных базовых систем, представлены в табл. 2.

Свойства разработанных гелей

№ п/п	Базовый состав	ТГО, мин.		Свойства геля	
		станд. условия	T=75±2°C	Δm*, %	F**, кН/м ²
1	ЖС-УК	600-720	80-200	0	22,0 / 8,0
2	ЖС-УК-ГЛ	900-1020	90-130	0	13,5 / 10,0
3	ЖС-АК-Инр	900-2160	180-300	0	60,0-110,0 / 60,0-110,0

*– статическая водоотдача после отверждения системы при T=75±2°C

**– механическая прочность. В числителе: для исходной системы, в знаменателе – для системы с мрамором.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что модифицирование растворов щелочных силикатов кислотами позволяет при определенных соотношениях получить гелеобразные продукты при широком варьировании их эксплуатационных характеристик.

Литература

1. Пирожков В.В., Пысенков В.Г., Лымарь И.В. и др. Эффективность новых технологий ограничения водопритока, опробованных на нефтяных месторождениях РУП «ПО «Белоруснефть» в 2002-2003 г.г. // Сб.: «Поиски и освоение нефтяных ресурсов Республики Беларусь» в 2 ч. – Гомель: БелНИПИнефть. – 2004, Вып.5, Ч.2. – 305 с.
2. Освоение ресурсов трудноизвлекаемых и высоковязких нефтей. // Сборник докладов 4-й Международной конференции. – Анапа, 2004 г. – Краснодар: Изд-во «Эдви». – 2004. – С.371-374.

3. Д.Д. Спарлин, У. Хаген. Контроль и регулирование добычи воды при разработке месторождений. // Нефть, газ и нефтехимия. – 1984, №3. – С.12-17.
4. Билл Бейли, Майк Крабтри, Джеб Тайри и др. Диагностика и ограничение водопритоков. // Нефтегазовое обозрение. – 2001, № 1. -- С.44-67.
5. Методическое руководство по оценке технологической эффективности применения методов увеличения нефтеотдачи пластов. РД 153-39.1-004-96. – М.: ВНИИнефть. – 1996. – 87 с.
6. Строганов В.М., Строганов А.М. и др. Водонаполненные составы АКОР и процессы их гелеобразования // Сборник научных трудов ВНИИКРнефть: Вопросы крепления и заканчивания скважин – Краснодар. Изд.: ВНИИКРнефть. – 1991. – С.140-145.
7. Артемьев В.Н. Новые технологии и технические средства в АО «Юганскнефтегаз»// Нефтяное хозяйство. – 1994, № 2. – С.8-11.
8. Вагнер Г.Р. Формирование структур в силикатных дисперсиях // Киев: Наукова думка. – 1989. – 169 с.
9. Гамзатов С.М. Применение вяжущих веществ в нефтяных и газовых скважинах. – М.: Недра. – 1986. – 184 с.

Отримання і властивості гелеутворюючих наноккомпозитів. Е. Ф. Юдіна, Г. Г. Печерський, Н. С. Поліщук

У статті наведено результати досліджень оптимального складу силікатно-полімерного розчину, що володіє високою стабільністю і тривалим часом початку гелеутворення, а також досить високою міцністю сформованого на його основі гелю, щоб витримувати значні градієнти тиску. Встановлено, що збільшення вмісту кислоти в бінарній системі корелює зі зниженням ТГО і зростанням міцності.

Obtaining and properties of nanocomposites helebrazuyuschye. E.F. Yudina, G. G. Pecherskiy, N. S. Polishchuk

The article presents the results of research the optimal composition of the silicate-polymer solution having high stability and long start gelling as well as a sufficiently high strength formed on the basis of the gel it to withstand significant pressure gradients. It is found that increasing the acid content in the binary system is correlated with a decrease in strength and an increase in MSW.

УДК 629.5.081.22

**РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОРПУСНЫХ
ДЕТАЛЕЙ В СИСТЕМЕ SAPS**

Н.В. Кьен, магистрант группы М6/1

Южно-китайский технологический университет

Н.В Цыкало, кандидат технических наук, доцент

*Национальный университет кораблестроения им. Адмирала
Макарова*

Приведены методы аналитической детализации в системе SAPS, показаны их преимущества и инструменты реализации моделирования деталей корпуса судна в приведенной автоматизированной системе.

Ключевые слова: метод, детализация, модель, деталь.

Аналитическая детализация корпусных конструкций состоит в определении формы и размеров деталей корпуса судна и записи данных в базу данных. В судостроении используют в основном четыре метода аналитической детализации:

развертка листов наружной обшивки на плоскость;

автоматическое определение размеров и формы деталей с использованием модели конструкции;

геометрические построения в интерактивном режиме по чертежам и эскизам;

детализовка с использованием библиотеки типовых деталей.

Приведенные методы используются в зависимости от информационного наполнения процессов технологической подготовки производства, а также в зависимости от положения детали в составе конструкции корпуса судна [1].

Детали наружной обшивки с учетом сложных обводов корпусов судов различных типов и назначения определяются с помощью специальных программных средств, которые выполняют развертку заданного участка поверхности на плоскость. Для деталей цилиндрической и конической формы расчеты сводятся к определению длины опорных линий и их взаимного расположения на плоскости. Для деталей сложной формы, таких как, например, парусовидной или седлообразной форм, используются специальные алгоритмы, которые дают приближенную развертку с учетом деформаций текучести [2]. В системе SAPS развертку листов с кривизной выполняют в разделе «3 D геометрия», который создан для работы с поверхностями и моделями деталей различной кривизны. Здесь же есть возможность автоматического построения моделей гибочной оснастки для проверки погиби готовых деталей.

Автоматическая детализовка на основе модели конструкции осуществляется при полном насыщении модели технологической информацией. Для реализации этого метода детализовки необходимо в «3D геометрии» создать трехмерную модель конструкции, которая является исходной информативной базой данных для реализации этого метода создания моделей деталей. В интерактивном режиме реализована возможность сохранения деталей, входящих в состав модели конструкции в базе данных деталей.

В базе данных системы предусмотрена библиотека типовых деталей, которая представляет собой множество процедур параметрического

описания деталей, наиболее часто используемых в составе конструкций корпуса судна. К таким деталям относятся кницы, бракеты, полосы, а также другие детали, по форме схожей с типовой. Для формирования модели детали таким способом достаточно выбрать соответствующую форму из библиотеки деталей и задать значения ее геометрических и технологических параметров.

Метод графических построений используют в том случае, когда деталь невозможно описать с помощью вышеперечисленных методов. Для этого в автоматизированной системе предусмотрены графические элементы, к которым относятся точки, прямые, отрезки, окружности, дуги, сплайны. Формирование основных контуров и вырезов деталей осуществляется с помощью разбиения детали на графические элементы и задания ее в автоматизированной системе. Этот метод моделирования основан на графическом построении отдельных элементов контура детали и ее вырезов, если таковые имеются, после чего они объединяются в единый замкнутый контур, к которому привязывается реквизитная информация. Только тогда модель детали сохраняется в базе данных системы.

Реализация вышеперечисленных методов детализации корпусных конструкций дает возможность автоматизировать работы технологической подготовки судостроительного производства, что отражается на снижении себестоимости постройки всего судна, делая его более конкурентоспособным.

Литература

1. Основы технологии судостроения/ В.Л.Александров, Г.В.Бавыкин, А.С.Рашковский, В.Ф.Соколов и др. Под общ.ред. В.Ф.Соколова. – СПб.: Судостроение, 1995. – 400 с.
2. Цикало Н. В., Рашковський О. С., Перов В. М. Основи автоматизованого проектування технологічних процесів : навчальний посібник / Н. В.

Цикало, О. С. Рашковський, В. М Перов. – Миколаїв : НУК, 2012. – 69 с.

Реалізація методів моделювання корпусних деталей в системі SAPS.

Н.В. Кен, Н.В. Цикало

Наведені методи аналітичного деталювання в системі SAPS, показані їх переваги та інструменти реалізації моделювання деталей корпусу судна в наведеній автоматизованій системі.

Implementation of modeling methods for hull details in SAPS system.

N.V. Ken, N.V. Tsykalo

Methods of the analytical detailing are used in SAPS software, their advantages and instruments of realization of vessel details modeling in the software are shown.

УДК 624.078.43

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ КЛЕЕВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ СТАТИЧЕСКОМ
НАГРУЖЕНИИ**

С.И. Корягин, доктор технических наук, профессор

С.В. Буйлов, кандидат физико-математических наук, доцент

Е.С. Минкова, кандидат технических наук, доцент

С.И. Пелевин, кандидат технических наук, доцент

*Балтийский Федеральный университет им. И.Канта, Россия,
г. Калининград*

В статье приведены исследования трещиностойкости клеевых соединений на образце «пузырь под давлением». Получена диаграмма объем-давление и определен размер зоны отслаивания покрытия от подложки.

Ключевые слова: трещиностойкость, статическое нагружение, клеевой соединение, армированное полимерное покрытие, прочность.

Исследование трещиностойкости клеевых соединений выполнялось на образце «пузырь под давлением» [1].

Образец (рис.1) содержит подложку 1 с отверстием 2, установленное на подложке 1 перекрывающее отверстие 2, разделительную прокладку 4 и нанесенное на подложку 1 со стороны разделительной прокладки 3 армированное полимерное покрытие 4. Разделительная прокладка 3 выполнена из антиадгезионного, по отношению к армированному полимерному покрытию 4, материала, например, целлофана.

Образец позволяет повысить точность определения прочности сцепления армированного полимерного покрытия с подложкой путем учета напряженного состояния покрытия при его отслаивании за счет выполнения разделительной прокладки из антиадгезионного, по отношению к покрытию материала. Нагружение осуществляется жидкостью.

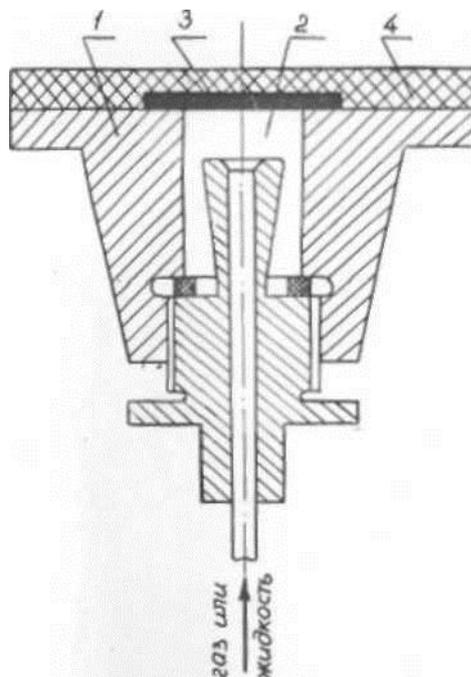


Рис. 1. Конструктивная схема образца для определения прочности сцепления полимерных покрытий с подложкой

В этом случае объем поступившей жидкости определяли по зависимости:

$$V=P \cdot C, \quad (1)$$

где P- давление жидкости; C- величина, характеризующая податливость образца. Затем увеличивали давление жидкости до частичного отслаивания армированного полимерного покрытия и находили величину удельной энергии, затраченной на разрушение:

$$G=\frac{1}{2} \cdot P \cdot \frac{dC}{dA}, \quad (2)$$

где A- площадь трещины.

С учетом выражения (1), получаем:

$$G=\frac{1}{2} \left(P \frac{dV}{dA} - V \frac{dP}{dA} \right), \quad (3)$$

а с учетом конечности величин имеем:

$$G=\frac{1}{2} \left(P \frac{\Delta V}{\Delta A} - V \frac{\Delta P}{\Delta A} \right), \quad (4)$$

где ΔV , ΔP - изменение объема и давления жидкости при увеличении площади трещины (A) на величину ΔA ; V, P - объем и давление жидкости в момент отслаивания покрытия от подложки.

В случае скачкообразного продвижения межслойной трещины величиной ΔV можно пренебречь и, следовательно имеем:

$$G=-\frac{1}{2} \cdot V \frac{\Delta P}{\Delta A}. \quad (5)$$

Данный подход позволяет определить по диаграмме разрушения упругую энергию образца и произведенную работу за определенный промежуток отслаивания покрытия от подложки.

В случае стабильного продвижения межслойной трещины величину G определяли из выражения (3).

Величины G_c и G_a определяли, согласно выражениям, приведенным в работе [2]:

$$G_c = \frac{4P^2 R}{[P^2 + (P+\Delta P)^2](2R+\Delta R)} G ; \quad (6)$$

$$G_A = \frac{4(P + \Delta P)^2 (R + \Delta R)}{[P^2 + (P + \Delta P)^2](2R + \Delta R)} G, \quad (7)$$

где R-радиус зоны отслаивания; G- определяли по выражению (3).

Объем поданной в образец жидкости определяли из выражения:

$$v = \alpha * h * d^2 / 8, \quad (8)$$

где α - угол поворота штока поршня; h- шаг резьбы штока поршня; d-диаметр поршня.

В процессе испытаний получали диаграмму объем-давление и определяли размер зоны отслаивания покрытия от подложки. Характер роста межслойных трещин аналогичен характеру роста трещин при нормальном отрыве, то есть клеевой композиции «Спрут-5М-3»- устойчивый, а для композиции «Спрут-Плюс»- скачкообразный *. Для образцов «пузырь под давлением» трещина отслеживала рельеф армирующего материала (стеклоткани) и проходила вблизи поверхности раздела фаз.

Достоверность полученных результатов испытания трещиностойкости клеевых соединений на образце проверяли на консольных балках по методике приведенной в работе [3]. Там же показано, что для консольных образцов при $r < 0$ трещина отклоняется к армирующему материалу, а при $\tau > 0$ - к поверхности подложки. На рис. 2 и 3 приведены результаты испытаний клеевых соединений при кратковременном статическом нагружении. Из рис. 2 и 3 видно, что величина G_I примерно в шесть раз меньше величины G_{II} . Механизм вязкости разрушения клеевого соединения можно объяснить тем, что трещина распространяется в том случае, когда плотность энергии деформации в области вершины трещины становится слишком большой. При исследовании поведения трещин, расположенных по границе раздела, клеевая композиция-подложка, наблюдалось распространение трещины на границе раздела при низкой скорости, а при ускорении трещины ее траектория отклонялась в клеевую композицию.

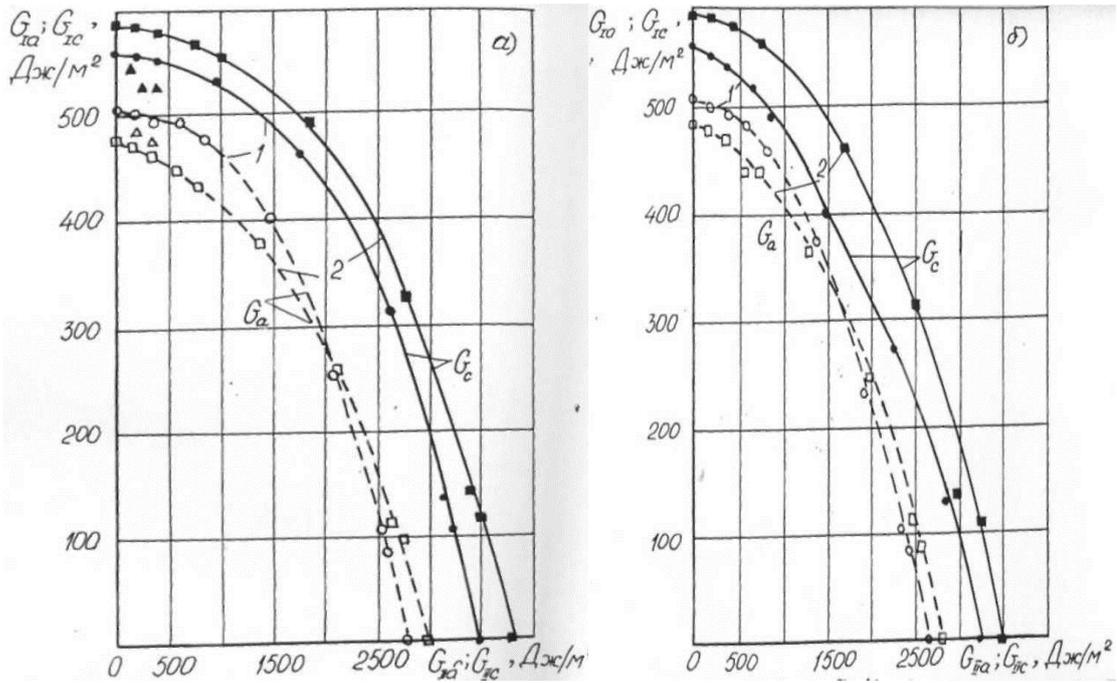


Рис. 2. Диаграммы предельного состояния при $\tau < 0$ (а), при $\tau > 0$ (б). Клеевая композиция Спрут-Плюс. Армирующий материал:

1 – стеклоткань Т-11-ГВС-9; 2 – стекловолокно; Δ - образец «пузырь под давлением»; \blacktriangle – консольный образец

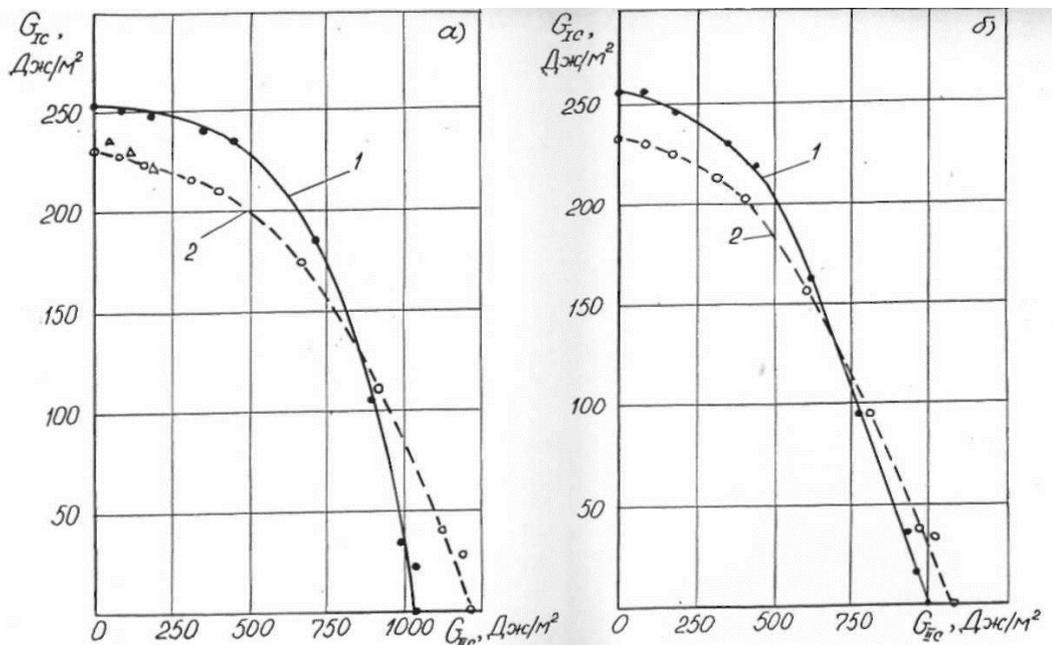


Рис. 3. Диаграммы предельного состояния при $\tau < 0$ (а), при $\tau > 0$ (б). Клеевая композиция Спрут-5М-3. Армирующий материал:

1 – стеклоткань Т-11-ГВС-9; 2 – стекловолокно; Δ - образец «пузырь под давлением»; \blacktriangle – консольный образец

Объясняется это тем, что при низких скоростях трещины энергии адгезии меньше энергии когезии и трещина следует вдоль границы раздела, то есть по пути минимального сопротивления, а при высоких скоростях трещины энергии адгезии больше энергии когезии и поэтому трещина распространяется в клеевую композицию. Аналогичное наблюдение скоростной зависимости разрушения клеевых соединений по границе фаз полимер-металл сделано в работе [2]. Необходимо также отметить, что нами в качестве рабочей гипотезы предложены приемлемые экспериментальные методики для количественной оценки адгезионной и когезионной энергии диссипации в клеевых соединениях. Таким образом, величины G_{Ic} и G_{Ia} являются важными прочностными характеристиками и их следует учитывать наряду с показателями стандартных испытаний клеевых соединений в конструкторских расчетах.

Литература

1. А.с. №974226 СССР. Образец для определения прочности сцепления полимерных покрытий с подложкой / С.В.Буйлов, С.И.Корягин//Б.и.-1982-№42
2. Корягин С.И. Несущая способность композиционных материалов.- Калининград:ГИПП «Янтарный сказ», 1996.-901 с.
3. Корягин С.И., Буйлов С.В. Оценка трещиностойкости армированного полимерного покрытия, нанесенного на металлический элемент/Заводская лаборатория.-2006.-№10.

Дослідження тріщиностійкості клейового з'єднання при короткочасному статичному навантаженні. С.І. Корягін, С.В. Белов, Е.С. Мінкова, С.І. Пелевін

У статті наведено дослідження тріщиностійкості клейових з'єднань на зразку "міхур під тиском». Отримано діаграма обсяг-тиск і визначений розмір зони відшаровування покриття від підкладки.

Research crack adhesive bond at short-term static load. S.I. Koryagin, S.V. Belov, E.S. Minkova, S.I. Pelevin

The paper presents the study of fracture toughness of adhesive joints on the "bubble pressure" sample. We obtain a pressure-volume diagram and determined the amount of peeling of the coating from the substrate zone

УДК 669.15.26.74

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ
МЕТОДОМ ПРЯМОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ**

А.И. Гарост, кандидат технических наук, доцент

*Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск*

Разработан ресурсосберегающий метод прямого (из оксидов) поверхностного легирования и модифицирования металлическими элементами (ванадием, титаном, вольфрамом, лантаном и др.) деталей машин, при котором в качестве легирующих и модифицирующих добавок используются промышленные отходы и полупродукты смежных производств. Восстановление металлов производится атомарным водородом и углеродом из специальных покрытий литейной формы и стержней, содержащих высокополимерные соединения.

Ключевые слова: поверхностное легирование, детали, микроскопия, износостойкость.

Несмотря на высокую эффективность процессов объемного легирования и модифицирования при повышении комплекса физико-механических и эксплуатационных свойств чугуна, они имеют и ряд существенных недостатков. Как правило, при реализации таких технологий повышение одних показателей влечет за собой снижение других, то есть не всегда решается комплексно проблема повышения качества чугуна. В этом отношении определенными преимуществами обладают процессы поверхностного легирования и модифицирования, позволяющие получать двухслойные отливки, сочетающие положительные свойства двух материалов (основы и поверхностного слоя). Это открывает широкие возможности для комплексного решения вопроса повышения качества чугунных изделий и увеличения срока их службы.

Для упрочнения поверхности стальных и чугунных деталей с целью повышения износостойкости или придания необходимых физико-механических характеристик при эксплуатации в специфических условиях применяются различные способы. Однако одни из них (например, наплавка) достаточно трудоемки и не обеспечивают точность геометрии и чистоту поверхности детали, для применения других (например, плазменной или ионно-лучевой обработки и др.) требуется сложная дорогостоящая техника, к тому же толщина слоя ограничена и возникают сложности по обеспечению надежной адгезии покрытия. Отдельные детали должны иметь эффективный износостойкий слой толщиной несколько миллиметров и выше (например, зубья ковшей экскаваторов, молотки дробилок и др.).

Целью настоящей работы является повышение износостойкости и долговечности литых изделий из железоуглеродистых сплавов за счет увеличения в структуре легированного слоя карбидной фазы и измельчения первичной дендритной структуры матричного металла легированного слоя. Ресурсосберегающая технология предусматривает создание эффективных составов композиций, состоящих из

промышленных отходов и полупродуктов смежных производств, для покрытий форм и стержней, обеспечивающих формирование наиболее глубокого и качественного легированного слоя.

Технологические подходы при реализации поставленных целей не предусматривают использование в составе легирующих и модифицирующих композиций дорогих и дефицитных химических соединений (нитридов, карбидов и др.), последние должны формироваться путем химического взаимодействия составляющих обмазки с основными компонентами сплава на определенных стадиях процесса кристаллизации.

Разработан ресурсосберегающий метод прямого (из оксидов) поверхностного легирования и модифицирования металлическими элементами (ванадием, титаном, вольфрамом, лантаном и др.) деталей машин [1-3], при котором в качестве легирующих и модифицирующих добавок используются промышленные отходы и полупродукты смежных производств. Восстановление металлов производится атомарным водородом и углеродом из специальных покрытий литейной формы и стержней, содержащих высокополимерные соединения.

Изучение возможностей метода проверяли на серых чугунах при заливке в сухие песчаные формы, при этом поверхность формы покрывается обмазкой, содержащей оксиды ванадия, для прямого поверхностного легирования отливок. В процессе пиролиза полимерных материалов образуются атомарные водород и углерод, которые обеспечивают восстановление металлов из оксидов.

Обеспечивается получение отбеленного поверхностного слоя (рис. 1). Результаты исследований структуры чугуна методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе JSM-5610LV с использованием электронно – зондового EDX анализа на детекторе IED 2201 позволили определить форму, размеры и микросостав образующихся включений как в поверхностном слое, так и в сердцевине отливки (табл. 1).

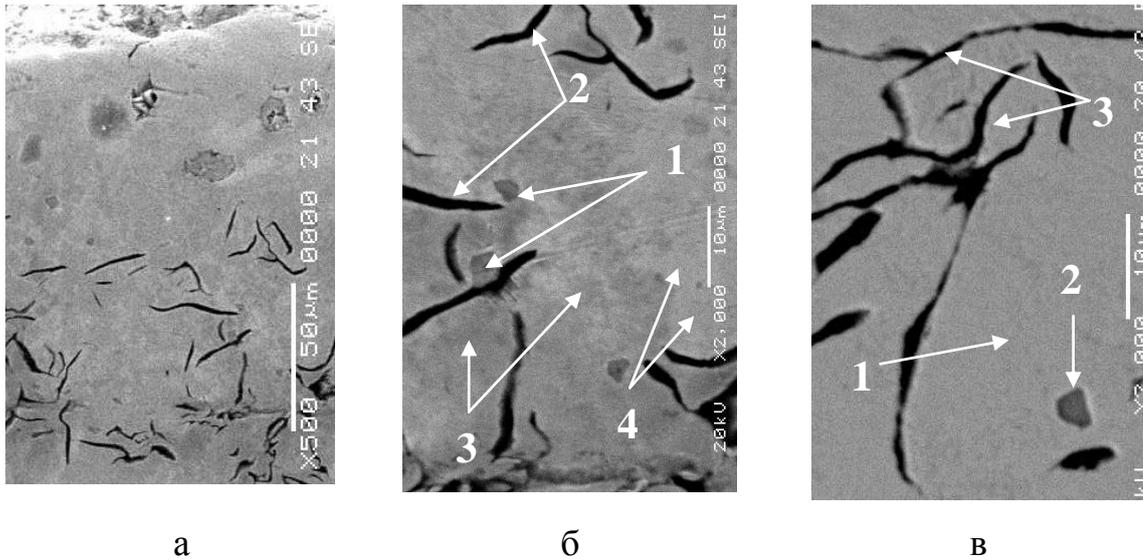


Рис. 1. Микроструктура чугуна підвгнутого прямому поверхностному легированию ванадием из оксидов:

а – металлографические исследования; б, в – исследования методом сканирующей электронной микроскопии

Проведенные исследования указывают на практическую возможность упрочнения отливок путем прямого поверхностного легирования и модифицирования железоуглеродистых сплавов из оксидов при использовании в качестве восстановителя не подлежащих регенерации изделий из высокомолекулярных соединений; составлены исходные данные для разработки технологии поверхностного легирования и модифицирования.

Определен состав композиции, обеспечивающей формирование наиболее глубокого и качественного легированного слоя, исключающего присутствие не расплавившихся включений и не прореагировавших между собой частиц легирующего наполнителя, а в объеме отливок – внутренних раковин.

Разработаны тип и состава связующего для легирующей композиции и разработана технология выплавки высококачественных отливок с износостойким поверхностным слоем из железоуглеродистых сплавов.

Химический состав неметаллических включений чугуна после прямого
поверхностного легирования

Вариант легирования	Расстояние от поверхности	Позиция включ.	Химический состав, % масс.						
			C	Si	Mn	Al	S	V	Fe
ванадиемв сухой песчаной форме	на поверхности	1 рисунок 1б	22,4 6	-	49,1 8	-	23,78	0,43	4,15
		2 рисунок 1б	75,0 2	0,74	0,56	0,08	-	0,02	23,58
		3 рисунок 1б	18,0 4	1,89	2,36	1,09	-	0,02	76,60
		4 рисунок 1б	8,23 1б	2,45	2,80	1,26	0,10	-	85,15
	более 5 мм от поверхности	1 рисунок 1в	-	3,02	2,91	-	0,06	0,24	93,77
		2 рисунок 1в	-	0,21	52,6 3	0,18	29,47	-	17,51
		3 рисунок 1в	69,7 8	0,18	1,12	-	-	-	28,93

Технология прямого поверхностного легирования металлическими элементами деталей машин из промышленных отходов и полупродуктов смежных производств позволяет обеспечить упрочнение отливок за счет увеличения в структуре легированного слоя карбидной фазы, а также за счет измельчения первичной дендритной структуры матричного металла легированного слоя. Отработана технология нанесения композиций, состоящих из промышленных отходов и полупродуктов смежных

производств, на поверхность форм и стержней для формирования наиболее глубокого и качественного легированного слоя.

Созданы композиции для покрытия поверхности форм и стержней, включающие недорогие металлосодержащие промышленные отходы, сверхсильные восстановители (атомарные водород и углерод), генерируемые при пиролизе составляющих покрытия, и связующие компоненты.

Литература

1. Гарост, А.И. Железоуглеродистые сплавы: структурообразование и свойства / А. И. Гарост. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 252 с.
2. Гарост, А. И. Разработка технологии получения высококачественных серых чугунов путем графитизирующего модифицирования отходами высокополимерных соединений / А. И. Гарост // Литье и металлургия. – 2005. – № 2, ч. 1. – С. 93–38.
3. Гарост А.И. Способ выплавки чугуна и способ выплавки стали. Патент Республики Беларусь на изобретение №11641 от 26.11.2008 г. по заявке а20050280 от 24.03.2005 г. (МПК(2006) С21С1/00, С21С5/00, F23G5/027)).

Підвищення зносостійкості литих деталей методом прямого поверхневого легування. А.И. Гарост

Розроблено ресурсозберігаючий метод прямого (з оксидів) поверхневого легування і модифікування металевими елементами (ванадієм, титаном, вольфрамом, лантаном і ін.) Деталей машин, при якому в якості легуючих і модифікуючих добавок використовуються промислові відходи і напівпродукти суміжних виробництв. Відновлення металів здійснюється атомарним воднем і вуглецем зі спеціальних покриттів ливарної форми і стрижнів, що містять високополімерні з'єднання.

Improving the durability of cast parts by direct surface alloying. A.I. Harost

A resource-saving method of direct (from oxides) surface alloying and modification of metallic elements (vanadium, titanium, tungsten, lanthanum and others.) Machine parts, in which as doping and modifying additives used industrial waste and products related industries. Recovery of metals with atomic hydrogen produced from the carbon and specialty coatings mold and cores containing high polymer compound.

УДК 621.793.71

**МАТЕРИАЛ И ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА
РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ
ПОВЕРХНОСТЕЙ, ВОСТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ ИЛИ
НАПЫЛЕНИЕМ**

В.А. Лойко, кандидат технических наук, доцент

В.С. Ивашко, кандидат технических наук, доцент

Беларусский национальный технический университет, г. Минск

В статье приведены результаты исследований эксплуатации режущего инструмента, необходимости в согласовании свойств материалов покрытия и инструмента, технологических особенностей методов нанесения к покрытиям, наносимым на режущий инструмент.

Ключевые слова: режущий инструмент, восстановление, наплавка, лезвийная обработка, износостойкость.

Для большинства деталей, которые восстановлены наплавкой и напылением, требуется дальнейшая обработка для получения необходимых точности размеров и качества поверхности. Однако обработка наплавленных и напыленных материалов значительно отличается от обработки традиционных материалов. Материалы,

используемые при восстановлении, имеют ряд специфических свойств [1, 2], затрудняющих их обработку, такие, как значительные микронеровности поверхности, неоднородный по сечению химический состав наплавленного слоя, повышенная пористость и высокая концентрация трещин, различная твердость наплавленного слоя по площади поверхности и по глубине наплавленного слоя, присутствие в материале наплавленного слоя шлаков и твердых включений, окисление поверхности и внутренних фрагментов структуры.

Поэтому механическая обработка наплавленных и напыленных материалов сопровождается значительными колебаниями величины сил резания и контактных нагрузок на поверхностях инструмента, нестабильностью процесса резания, более высокой температурой в зоне резания по сравнению с обработкой материалов того же химического состава в другом состоянии.

Высокие механические свойства материалов покрытий, применяемых для восстановления деталей машин, обеспечивают их функциональные свойства и требуемый ресурс в эксплуатации, однако плохо обрабатываются резанием, что создает значительные проблемы получения требуемых размеров и качества поверхностного слоя изделий. Для решения данной проблемы в современном производстве целесообразно применять инструмент, упрочненный нанесением покрытий.

В зависимости от материала и условий эксплуатации режущего инструмента, необходимости в согласовании свойств материалов покрытия и инструмента, технологических особенностей методов нанесения к покрытиям, наносимым на режущий инструмент, предъявляется ряд требований, которые могут быть разделены на четыре категории [1].

1. Требования, учитывающие условия работы инструмента, то есть его служебное назначение. Покрытия должны обладать высокой твердостью, превышающей твердость материала инструмента (и сохранять ее при температуре резания); стойкостью к адгезии с обрабатываемым

материалом во всем диапазоне температур резания; устойчивостью к высокотемпературной коррозии; стабильностью механических свойств вплоть до температуры теплостойкости инструментального материала; инертностью к растворению в обрабатываемом материале при высоких температурах; сопротивляемостью к разрушению при значительных колебаниях температур и напряжений.

2. Специфические требования к инструментальному материалу с покрытием включают совместимость свойств материалов покрытия и инструмента. Материалы покрытия и инструмента должны обладать средством кристаллохимического строения, определяющем высокую адгезионную прочность; оптимальным соотношением основных физико-механических и теплофизических характеристик (модуль упругости, коэффициент Пуассона и коэффициент линейного расширения, теплопроводности); малой склонностью материалов основы и покрытия к твердофазным диффузионным реакциям во всем диапазоне температур и напряжений в условиях процесса резания, и не быть склонными к образованию хрупких вторичных соединений.

3. Требования к технологическим особенностям метода нанесения покрытия такие, как формирование покрытия при температурах, исключая кристаллизационные явления и фазовые переходы в материале инструмента; возможность воспроизводства свойств покрытия заданного состава при требуемом соотношении технологических параметров.

4. Общие требования, такие, как высокая равная плотность и беспористость покрытия по поверхности и сечению, обеспечивающие защиту материала инструмента от взаимодействия с обрабатываемым материалом и газовой средой; стабильность свойств покрытия во времени; малые отклонения толщины покрытия в пределах рабочих поверхностей, что позволяет сохранить геометрическую точность инструмента; возможность получения покрытий предельно простым и экономичным способом.

Наиболее широко в качестве материалов для покрытий на режущих инструментах используют карбиды, нитриды, карбонитриды, бориды и силициды тугоплавких металлов IV – VI групп Периодической системы элементов (IV – титан, цирконий, гафний; V – ванадий, ниобий, тантал; VI – хром, молибден, вольфрам). Это связано с особенностями их кристаллохимического строения [2, 4].

Например, наличие у этих металлов дефекта на внутренних *s*-, *p*- и *d*-орбиталях делает их весьма восприимчивыми к приобретению электрона из любого источника, которым могут служить междоузельные атомы углерода, азота и кислорода [2, 4].

Большинство переходных металлов имеет широкие области гомогенности, что позволяет в зависимости от содержания кислорода, азота и углерода достаточно сильно изменять физико-механические свойства их карбидов, нитридов или оксидов. К тому же переходные металлы и некоторые их соединения, особенно с простой кубической структурой (*ZrC*, *HfC*, *ZrN*, *TiN*, *HfN*, *VC*, *NbC*, *TaC*), отличаются высокой твердостью и температурой плавления [2, 4, 5].

Выбор покрытия осуществляется в зависимости от типа обрабатываемого материала и области его применения. Любое покрытие должно обладать максимальной инертностью к обрабатываемому материалу. Поэтому необходимо учитывать тип химической связи материала покрытия.

Ранее установлено, что чем заметнее проявляется металлический тип связи покрытия, тем сильнее оно схватывается с обрабатываемым материалом. Карбиды переходных металлов проявляют более высокую адгезионную активность по отношению к различным металлам и сплавам, чем нитриды [2, 4]. На основании этого можно предположить, что покрытия из Al_2O_3 , обладающего ионным типом химической связи, будут проявлять высокую инертность к обрабатываемым материалам.

Свойства соединений тугоплавких металлов, перспективных в качестве упрочняющих покрытий [2]

Соединение	ρ , кг/м ³	$T_{пл}$, °C	H_{μ} , ГПа	E , ГПа	α , град ⁻¹	λ , Вт/м·К
<i>TiC</i>	4930	≈ 3250	31,7	460	8,3	6,8
<i>TiN</i>	5440	2950	20,5	256	9,4	12,6
α - <i>Al₂O₃</i>	3980	2050	–	–	8,0	30,2
<i>NbC</i>	7500	3500	21,7	345	7,8	-
<i>NbN</i>	8470	2300	14,61	493	10,1	3,8
<i>ZrC</i>	6900	3330-3530	29,5	355	7,01	11,6
<i>ZrN</i>	7350	2980	15	400	7,24	28,3
<i>HfC</i>	12200	≈ 3890	28,3	359	6,9	6,3
<i>HfN</i>	1339	3310	16	–	6,9	19,1
<i>Mo₂C</i>	9180	2230	17,64	544	7,8	31,9
<i>MoC</i>	8400	2530	15	-	0,6	-
<i>Mo₂N</i>	9440	895	6,3	-	-	-
<i>Cr₂₃C₆</i>	6890	1520—1550	16,63	-	10,1	19,7
<i>Cr₇C₃</i>	6970	1530—1895	18,82	380	9,4	15,3
<i>Cr₃C₂</i>	6683	1827—1895	12,74	380	11,7	19,2
<i>Cr₂N</i>	6510	-	15,41	310	9,41	21,8
<i>CrN</i>	6140	1500	10,93	330	2,3	11,9

Примечание: ρ – плотность, $T_{пл}$ – температура плавления, H_{μ} – микротвердость, E – модуль упругости, α – коэффициент термического расширения, λ – коэффициент теплопроводности.

Нитридные и карбидные покрытия широко применяются в различных отраслях промышленности, что связано с их предельными

физико-механическими свойствами и устойчивостью во многих агрессивных средах.

Одним из перспективных направлений повышения эксплуатационных свойств изделий является их обработка в вакууме. К преимуществам вакуумных ионно-плазменных технологий относят возможность нанесения плотных покрытий с твердостью более 2 ГПа с высокой адгезией к поверхности различных материалов, в том числе и неметаллических. Процесс позволяет создавать многокомпонентные покрытия с различными стехиометрическими композициями: нитридные, карбонитридные, оксикарбонитридные, интерметаллидные, на основе различных металлов. Кроме этого, вакуумная ионно-плазменная технология, Состав композиционного покрытия выбирается в зависимости от условий эксплуатации, материала основы и характера предварительной термической и механической обработки оснастки или упрочняемого инструмента. Для упрочнения режущего инструмента предлагается трехслойное покрытие (рис. 1). Первый слой толщиной 0,5 – 1,5 мкм предназначен для снижения трения по обработанной поверхности и стружке в процессе лезвийной обработки, представляет собой тонкий и высокоплотный слой химически индифферентного к металлам группы железа нитрид металла с достаточно высокими физико-механическими характеристиками (табл. 1). Ближайший к поверхности основы инструмента слой 3-й слой, толщиной 2-5 мкм представляет собой твердый карбид того же металла обеспечивает защиту рабочих поверхностей инструмента. Промежуточный многофункциональный слой 2 (рис. 1) толщиной 1-3 мкм из карбид-нитрида переменного состава [3] обеспечивает надежную связь 1-го и 3-го слоев и выполняет барьерную, теплоотражающую функцию. Такие покрытия можно наносить в одном технологическом цикле на установке «Булат-6».

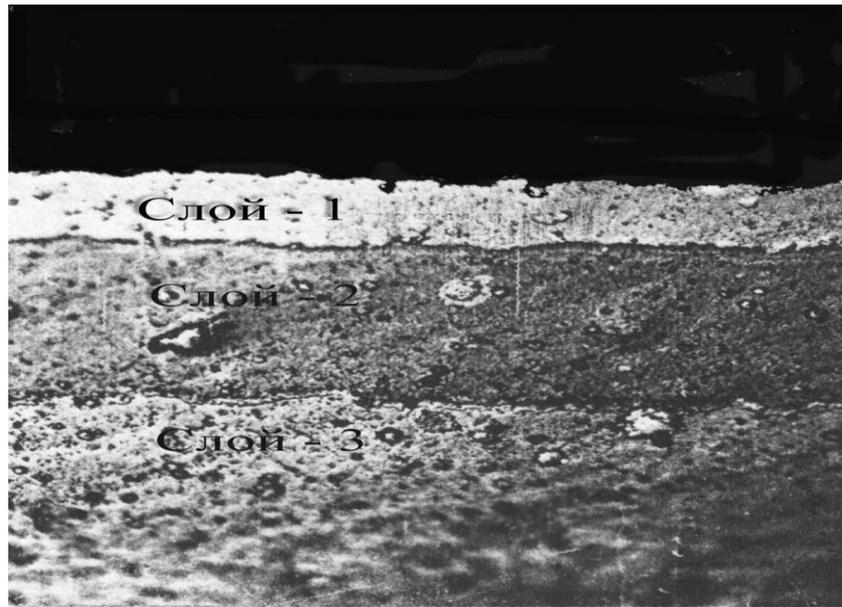


Рис. 1. Предлагаемое расположение слоев многослойного покрытия лезвийного режущего инструмента для наплавленных или восстановленных газотермическим напылением поверхностей

Вакуумные ионно-плазменные технологии позволяют проводить химико-термическую обработку поверхности (например, ионное азотирование) [1, 4, 6]. Этот процесс заключается в низкоэнергетическом насыщении обрабатываемой поверхности легируемым веществом.

Высокие механические характеристики плазменно-вакуумных покрытий, такие как микротвердость, износостойкость, прочность сцепления с материалом детали или инструмента, а также низкий коэффициент трения и слабая склонность к свариванию с обрабатываемой деталью, обусловленные их слабым сродством с металлами заготовки, их высокая термическая стабильность защищают материал инструмента, а незначительная толщина обеспечивает высокую упругость при ударах и экстремальных нагрузках.

Наиболее характерная особенность покрытий, наносимых вакуумно-плазменным методом – отсутствие переходной зоны между покрытием и инструментальным материалом. Это обстоятельство является весьма важным, так как создается возможность придать рабочим поверхностям ин-

струмента комплекс дополнительных свойств без ухудшения его объемных свойств – прочности и вязкости разрушения. Возможность широкого варьирования температуры (200–800 °С) в зонах осаждения позволяет использовать вакуумно-плазменные технологии для нанесения покрытий на инструмент из углеродистых инструментальных быстрорежущих сталей, твердых сплавов, керамики с высокой адгезии покрытия к основе.

Метод вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой универсален благодаря возможности нанесения многокомпонентных однослойных (типа карбид-нитридов, композиций карбидов (нитридов) 2-х или даже 3-х металлов, а также, многослойных и композиционных покрытий в одном технологическом цикле. Следует также отметить относительно высокую скорость формирования покрытий и безопасность для окружающей среды, так как процесс осуществляется в вакуумной камере, а исходные вещества и продукты плазмо-химических реакций не представляют опасности для человека и окружающей среды.

Метод конденсации с ионной бомбардировкой может быть успешно применен для нанесения покрытий из переходных металлов *IV–VIa* групп Периодической системы (*Ti, Cr, Mo* и др.) и их тугоплавких соединений (карбидов, нитридов, оксидов и комплексных соединений типа карбид-нитридов) на металлические детали машин и режущий инструмент для обработки восстановленных поверхностей.

В качестве подложки могут быть использованы быстрорежущие и низколегированные углеродистые инструментальные стали, твердые сплавы, керметы, спеченный Al_2O_3 или Si_3N_4 .

Технологически возможно совмещение ионно-плазменных технологии, которые реализуются в последовательном (либо совмещенном) воздействии на обрабатываемую поверхность в одном вакуумном объеме за один технологический цикл. Например, проведение ионного азотирования либо ионной нитроцементации с последующим

вакуумно-плазменным осаждением упрочняющего слоя либо многослойной композиции.

Особенностями метода является низкая температура детали или инструмента в процессе (200–500 °С) нанесения слоя, незначительное изменение параметров микрорельефа поверхностей инструмента и малая толщина слоя покрытия (3-10 мкм), что позволяет исключить последующие механическую и термическую обработки.

По традиционной технологии на стадии ионной очистки, к обрабатываемому инструменту прикладывается высокий отрицательный потенциал 1-1,5 кВ, что приводит к ускорению ионов металла вблизи подложки в так называемом двойном слое до энергии 1...2,0 кэВ и способствует интенсивной бомбардировке тяжелыми ионами металла с высокой энергией, распылению загрязнения и дефектов, травлению и активации поверхности детали нагреву его до температуры конденсации 650–800 °С, что вполне приемлемо для инструмента из металлокерамических твердых сплавов, но приведет к отпуску на низкую твердость легированных углеродистых инструментальных и даже быстрорежущих сталей. Эта проблема усугубляется особенностями экранизации плазменного потока выступающими элементами инструмента (лезвийными частями) и плохими условиями теплоотвода от острых кромок, что приводит к преимущественному их разогреву и возможному отпуску, в то время, как температура «тела» инструмента значительно (на 100-200⁰С) ниже температуры отпуска на низкую твердость для данного инструментального материала.

Поэтому развитием метода вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой является метод низкотемпературной вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой. По сравнению с известным ранее методом, способ метод низкотемпературной вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой позволяет [1, 4, 6] наносить качественные покрытия при температуре не более 150-200⁰С без

отпуска на низкую твердость, следовательно, без последующей термической обработки инструмента (в том числе из термообработанных углеродистых и низколегированных инструментальных сталей), возможность наносить покрытия на детали с повышенными требованиями к размерной точности; возможность одновременного нанесения покрытий на детали, различные по материалам и массе; снижение оптимальной толщины покрытий до 3-10 мкм, достижение адгезии покрытий, соизмеримой с прочностью соединяемых материалов, исключение брака.

Предлагаемый низкотемпературный процесс включает предварительную обработку поверхности детали, режущего инструмента или оснастки потоком ионов нейтрального газа аргона, ускоренных в скрещенных магнитном и электрическом полях ионного источника типа «Аида-2» или «Радикал», «Риф» и последующую конденсацию с ионной бомбардировкой потоков плазмы переходного металла в строго контролируемом «химически активном вакууме» - среде реакционного газа. Для реализации метода низкотемпературной вакуумно-плазменной конденсации с ионной бомбардировкой могут использоваться модернизированные установки серии «Булат», которые оснащают газовыми ионными источниками различных конструкций, обеспечивают «мягкую» и эффективную предварительную очистку поверхности инструмента ионами нейтрального газа без сколько-нибудь существенного нагрева, а на этапе осаждения покрытия - «ионное ассистирование» путем подачи ионизированного реакционного газа в зону формирования упрочняющего слоя [1, 4].

Перед нанесением покрытия инструмент устанавливается на технологической оснастке в вакуумной камере установки «Булат». Откачивающая система установки обеспечивает рабочий вакуум в камере 0,1 Па. После откачки в нее с помощью вентиля тонкого натекания напускался аргон до давления 0,5 – 1 Па, и проводится очистка поверхности потоком ионов аргона, ускоренных до энергии 0,1 - 4 КэВ,

для чего между электродами и устанавливалась разность потенциалов 0,1 - 4 кВ. Далее камера снова откачивалась до давления 10^{-3} Па, и подается реакционный газ или смесь газов до давления $(8 \times 10^{-2}) - (3 \times 10^{-1})$ Па. При этом ионизированные атомы металла основы покрытия и заряженные конгломераты частиц с высокой скоростью устремляются к поверхности инструмента, где в результате плазмо-химических реакций происходит прямой синтез упрочняющего слоя. Одной из ключевых проблем плазменно-вакуумной технологии упрочнения режущего инструмента является присутствие в плазменном потоке расплавленных частиц, которые при осаждении на поверхность образуют мягкие и химически активные включения чистого металла, снижающие триботехнические характеристики и интегральную твердость упрочняющего слоя. Разработанные учеными Харьковского ФТИ устройства плазмосепарации [5] нашли применение для нанесения углеродсодержащих покрытий, но при нанесении покрытий из тяжелых элементов, каковыми являются металлы $IYa - VIIa$ групп Периодической системы требуют создания значительных стационарных магнитных полей, поэтому потребляют много электроэнергии, не отличаются надежностью и снижают выход образующего покрытие металла до 20-50% за счет потерь наиболее ценной ионной компоненты плазменного потока. электростатических экранов (подготовлена заявка на патент, имеем «Ноу хау») [6], что обеспечивает увеличение выхода ионной компоненты образующих покрытие материалов не ниже 70%. Использование таких устройств позволяет не только свести к минимуму количество включений металла в слое и на поверхности упрочняющего покрытия, но и снизить до минимума выделение энергии кристаллизации расплавленных частиц, следовательно способствуют снижения температуры инструмента в процессе нанесения покрытия и термических напряжений.

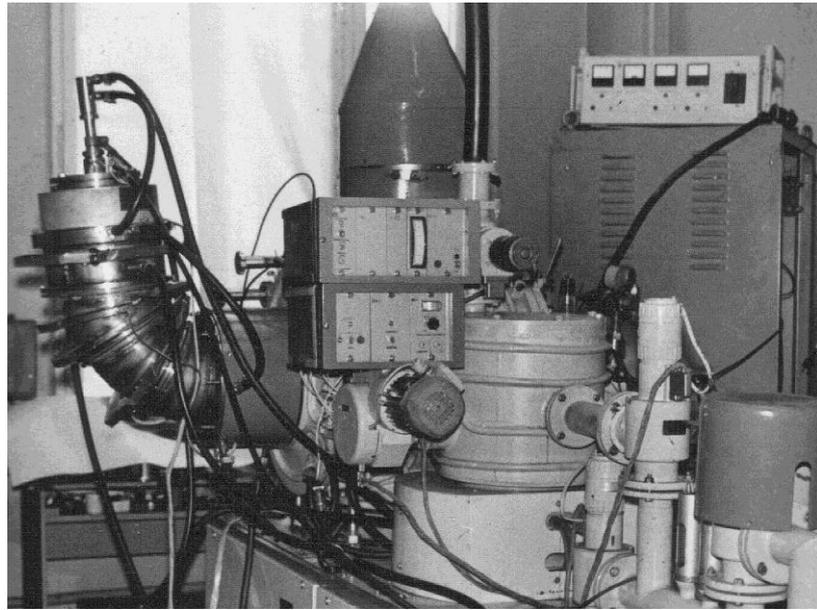


Рис. 2. Установки «Булат-6», оснащенная системой плазмосепарации с электростатическими экранами

Заключение. Плазменно – вакуумная технология нанесения тонких износостойких слоев высокопрочных химических соединений металлов *IVa – VIa* групп Периодической системы элементов (карбидов, нитридов, оксидов и их композиций) на поверхности инструмента из известных инструментальных материалов (твердые сплавы, быстрорежущих и низколегированных углеродистых сталей) является перспективным направлением упрочнения инструмента для обработки резания восстановленных поверхностей. Однако для более широкого промышленного применения требуются углубленная проработка как новых материалов покрытий, совершенствование технологии, так и создание более современных устройств для их нанесения.

Литература

1. Лойко, В.А. Вакуумно-плазменные технологии в ремонтном производстве /В.А. Лойко и [др.]. - Минск: Издательство УО «БГАТУ», 2007. 192 с.
2. Косолапова, Т.Я. Свойства, получение и применение тугоплавких

соединений. Справочное издание / Т.Я. Косолапова [и др.]; под общ. ред. Т.Я. Косолаповой. - Москва: Металлургия, 1986. - 928 с.

3. Лойко, В.А. Способ нанесения карбонитридных покрытий. /В.А. Лойко и [др.] - Патент РБ №2433 от 01.06.1998 г.

4. Кадыржанов, К.К. Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов / К.К. Кадыржанов [и др.] – Москва: МГУ, 2005. – 640 с.

5. Аксенов, И.И. Покрытия, полученные конденсацией плазменных потоков в вакууме (способ конденсации с ионной бомбардировкой) / И.И. Аксенов [и др.] // Украинский физический журнал - 1979. - Т.24, № 4. - С. 515-525.

6. Ивашко В.С., Лойко В.А. Улучшение характеристик плунжерных пар топливных насосов нанесением вакуумно-плазменных покрытий В сборнике материалов международной научно – технической конференции «Технічний сервіс АПК, техніка та технолоґії у сельскагосподарському машиностроєнні», Вып. 46, 47, г. Харьков, 2006.

Метеріал і технологія нанесення покриттів на ріжучий інструмент для лезової обробки поверхонь, востановлених наплавленням або напиленням.

В.А. Лойко, В.С. Івашко

У статі наведені результати досліджень експлуатації ріжучого інструменту, необхідності в узгодженні властивостей матеріалів покриття та інструменту, технологічних особливостей методів нанесення до покриттів, що наносяться на ріжучий інструмент.

Material i tehnologiya Damage pokrittiv on rizhuchy instrument for lezovoї obrobki poverhon, Data Recovery Tools weld abo napilennyam. V.A. Loikaw, V.S. Ivashko

The results of research stae operation of the cutting tool, the need to harmonize the properties of the coating materials and tools, technological features methods of application to the coating applied to the cutting tool.

УДК 678.01:621.7

**К МЕХАНИЗМУ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВАЯ МОЗАИКА НА
ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ**

В.А. Лиопо, доктор технических наук, профессор

В.А. Струк, кандидат технических наук, доцент

А. Н. Сенько, кандидат физико-математических наук, доцент

Е. В. Овчинников, кандидат технических наук, доцент

С.В. Авдейчик, ассистент

*УО «Гродненский государственный университет имени Янки
Купалы», г. Гродно, Беларусь*

В статье приведены исследования барьерной модели механизма возникновения мозаики на поверхности металлических поликристаллических подложек.

Ключевые слова: зарядовая мозаика, поликристаллы, барьерная модель.

При формировании и эксплуатации статических (адгезионных) и динамических (триботехнических) металлополимерных систем важное значение имеют физико-химические процессы на границе раздела. На механизм реализации и кинетику этих процессов существенное влияние оказывает локализованный заряд, формирующий так называемую «зарядовую мозаику». Существуют различные гипотезы формирования зарядовой мозаики, однако однозначной теории в настоящее время не существует. Нами сделана попытка в рамках барьерной модели описать механизм возникновения мозаики на поверхности металлических поликристаллических подложек.

В модели свободного независимого электрона (адиабатическое приближение) гамильтониан в уравнении Шредингера имеет вид:

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta + u(\vec{r}), \quad (1)$$

где \hbar - постоянная Планка, m – масса электрона, $u(\vec{r})$ функция потенциала. Если гамильтониан (1) применяется для описания состояния электрона в кристалле, то есть в поле периодического потенциала, то

$$u(\vec{r}) = u(\vec{r} + \vec{R}), \quad (2)$$

где \vec{R} – вектор трансляции, равный

$$\vec{R} = m\vec{a} + n\vec{b} + p\vec{c}, \quad (3)$$

где \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} – репер Бравэ, m , n , p – целые числа.

Решением уравнения Шредингера для адиабатического приближения при наличии периодического потенциала является волновая функция ψ_{nk} , определяемая теоремой Блоха.

$$\psi_{nk}(\vec{r}) = \varphi_{nk}(\vec{r}) \cdot \exp i\vec{k}\vec{r}, \quad (4)$$

где волновой вектор $\vec{k} = 2\pi\vec{s}$, \vec{s} – вектор обратной решетки. Функция $\varphi_{nk}(\vec{r})$ обладает свойством периодичности:

$$\varphi_{nk}(\vec{r} + \vec{R}) = \varphi_{nk}(\vec{r}) \quad (5)$$

Из формул (1-5) следует

$$\psi_{nk}(\vec{r} + \vec{R}) = \varphi_{nk}(\vec{r} + \vec{R}) \cdot \exp i\vec{k}(\vec{r} + \vec{R}) = \varphi_{nk}(\vec{r}) \exp i\vec{k}\vec{r} \cdot \exp i\vec{k}\vec{R} = \psi_{nk}(\vec{r}) \cdot \exp i\vec{k}\vec{R} \quad (6)$$

Полученное уравнение

$$\psi_{nk}(\vec{r} + \vec{R}) = e^{i\vec{k}\vec{R}} \cdot \psi_{nk}(\vec{r}) \quad (7)$$

является другой формой записи теоремы Блоха [1].

Из условия (7) видно, что волновая функция электрона в поле периодического потенциала ($u(\vec{r})$) соответствует решению уравнения Шредингера для свободного электрона ($\psi(\vec{r})$)_f

$$[\psi_k(\vec{r})]_f = \psi_0 \exp(i\vec{k}\vec{r}), \quad (8)$$

но вместо постоянного амплитудного множителя ψ_0 в решении (7) стоит волновая функция с периодом R . Волновое число (k) – называют номером зоны. При фиксированном k имеется много независимых собственных состояний с определенными значениями энергии, которые распределены по зонам, разделенных значениями энергии, которые не являются

собственными значениями оператора Гамильтона, то есть, запрещены для электронных состояний.

При попытке описать состояние электрона вблизи поверхности кристалла следует учитывать, что в этих областях вещества нарушается периодичность потенциала, а на поверхности кристалла создается, так называемый, поверхностный барьер, форма которого зависит от очень многих факторов, начиная от дефектов различной природы (кстати, сама поверхность является двухмерным дефектом), а также от морфологии поверхностных слоев. Функция поверхностного потенциала (u_s) изменяет свою форму, при переходе от одной точки поверхности к другой, то есть

$$u_s = u(\vec{Q}), \quad (9)$$

где \vec{Q} – радиус-вектор точек поверхности.

В работе [1] показано, что при нарушении периодичности потенциала вблизи поверхности, волновая функция приобретает вид, отличный от тех, что приведены условием (4) и (8). Пример поверхностной волновой функции приведен на рис. 1.

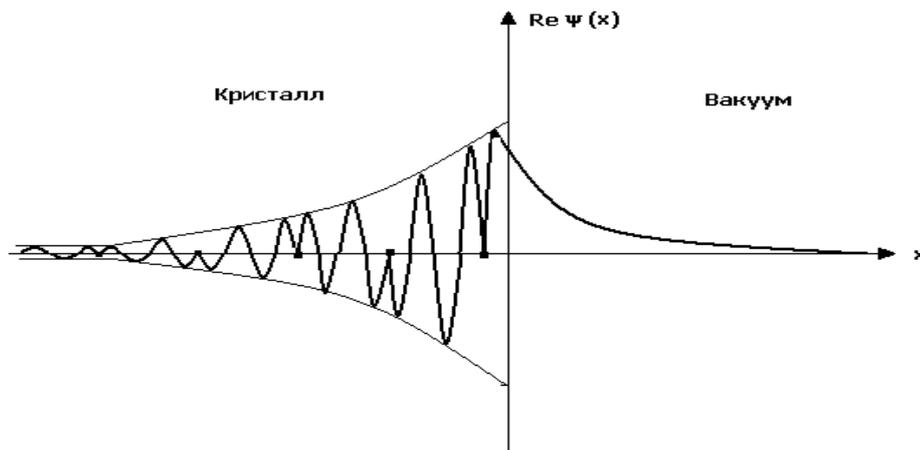


Рис. 1. Пример волновой функции одноэлектронного поверхностного уровня, изображенной в направлении x , перпендикулярном поверхности

Заметим, что функция ψ спадает по экспоненте снаружи металла и имеет экспоненциально убывающую огибающую внутри него. В этом случае наряду с действительными волновыми векторами \vec{k} (см. (4,8)) внутри кристалла, существуют другие решения с комплексными волновыми векторами, которые соответствуют состояниям электронов, локализованных вблизи поверхности кристалла, отличающиеся от объемной.

Эти поверхностные состояния с определенными уровнями энергии впервые были рассмотрены И.Е. Таммом и носят его имя – таммовские уровни. При обсуждении объемных свойств кристаллов влиянием этих поверхностей уровней пренебрегают, так как отношение числа поверхностных уровней к числу блоховских уровней не превышает отношения числа поверхностных атомов к полному числу атомов в кристалле, которые для макроскопического образца не превышает 10^{-8} . В результате поверхностные уровни дают пренебрежительно малый вклад в объемные свойства; исключение составляет лишь нанобъекты, поверхностные и размерные факторы, в которых играют большую, а часто и решающую роль. Однако, и в монокристаллах таммовские уровни довольно важны при определении структуры кристаллической поверхности. Например, они должны учитываться при всяком подлинно микроскопическом расчете структуры поверхностного слоя [1].

Для конкретных форм поверхностных потенциалов необходимо искать конкретное решение уравнения Шредингера. При этом необходимо анализировать не только действительные, но и комплексные волновые векторы (см. (4, 8)), а затем исследовать вопрос, как будут «сшиты» волновые функции поверхностного слоя с внутренними блоховскими функциями и экспоненциально убывающей по амплитуде волновой функцией во внешней для кристалла области. Самое главное, на наш взгляд, заключается в том, что, во-первых, определить форму потенциального барьера экспериментально очень трудно, если вообще это

возможно, так как сам процесс его измерения внесет сильные искажения в форму барьера, а во-вторых, функционал поверхностного потенциала зависит от многих факторов и различен для различных точек поверхности.

В то же время само наличие поверхностного потенциала как следствие появления такого дефекта, каковым эта поверхность является, при любой его форме приводит к появлению поверхностных (таммовских) уровней, которых нет в объемной зонной структуре.

Рассмотрим одномерный случай. Пусть состояние электронов характеризуется дискретным спектром собственных значений оператора Гамильтона, а ось x перпендикулярна поверхности кристалла. Волновые функции в объеме $\psi^{(0)}(x)$ и на поверхности $\psi(x)$ являются решениями соответствующих уравнений Шредингера

$$\begin{aligned} \hat{H}^{(0)} \psi_n^{(0)}(x) &= E_n^{(0)} \psi_n^{(0)}(x) \\ \hat{H} \psi_k(x) &= E_k \psi_k(x). \end{aligned} \quad (10)$$

Предположим, что уравнение (10) имеют одинаковую по числу решений систему функций, т.е. $n, k = 1, 2, 3, \dots, N$. Тогда к ним применимо понятие скалярного произведения

$$\begin{aligned} (\hat{H} \psi_k, \psi_n^{(0)}) &= E_k (\psi_k, \psi_n^{(0)}), \\ (\psi_k, \hat{H}^{(0)} \psi_n^{(0)}) &= E_n^{(0)} (\psi_k, \psi_n^{(0)}). \end{aligned} \quad (11)$$

Отсюда

$$(\hat{H} \psi_k, \psi_n^{(0)}) - (\psi_k, \hat{H}^{(0)} \psi_n^{(0)}) = (E_k - E_n^{(0)}) (\psi_k, \psi_n^{(0)}). \quad (12)$$

Так как

$$\begin{aligned} \hat{H} &= -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + U, \\ \hat{H}^{(0)} &= -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V \end{aligned} \quad (13)$$

содержат независимые друг от друга функции поверхностного U и объемного V потенциалов, то левая часть уравнения (12) отлична от нуля.

Следовательно,

$$(\psi_k, \psi_n^{(0)}) \neq 0. \quad (14)$$

Это означает, что ψ_k и $\psi_n^{(0)}$ образуют независимые системы функций, причем количество собственных значений для этих двух состояний в общем случае не связаны друг с другом. Уравнения (10) с учетом (13) запишем в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \psi_k(x)}{\partial x^2} + q_k^2 \psi_k(x) &= 0, \\ \frac{\partial^2 \psi_n^{(0)}(x)}{\partial x^2} + p_n^2 \psi_n^{(0)}(x) &= 0, \end{aligned} \quad (15)$$

$$\text{где } q_k^2 = \frac{2m}{\hbar^2}(U - E_k), \quad p_n^2 = \frac{2m}{\hbar^2}(V - E_k^{(0)}).$$

Решения уравнений (15) ищем в виде

$$\begin{aligned} \psi_k(x) &= A \exp(iq_k x) \\ \psi_n^{(0)}(x) &= B \exp(ip_n x), \end{aligned} \quad (16)$$

отсюда

$$\ln \frac{\psi_k}{\psi_n^{(0)}} = \ln C + ix(q_k - q_n), \quad (17)$$

$$\text{здесь } C = \frac{A}{B}.$$

ак как $q_k \neq q_p$ и эти величины независимые, то

$$\ln \frac{\psi_k}{\psi_n^{(0)}} \neq \text{const.} \quad (18)$$

То есть функции $\psi_n^{(0)}(x)$ или их линейные комбинации не могут быть собственными функциями оператора \hat{H} , а $\psi_k(x)$ – собственными функциями оператора $\hat{H}^{(0)}$ [2].

Если уравнения (10) имеют различные количества решений, т.е. $k \neq n$, то в том случае, в котором число решений больше, можно брать линейные комбинации волновых функций, то есть с одной стороны, все решения учитываются, а с другой – будет осуществлен переход к одинаковому числу решений. Дальнейший анализ проводится по рассмотренной выше схеме (см. формулы (11 – 18)).

В кристаллах со спайностью структурные дефекты по обе стороны от плоскости расслоения при образовании ювенильной поверхности различны

[2]. Это объясняет наличие электронной мозаики на поверхностях диэлектриков [3], но не позволяет, на первый взгляд, объяснить появление электрически заряженных областей на поверхности металлов, а именно эти заряды создает, по терминологии Т.И. Дистлера, подробно изучавшего это явление, своеобразный «электрический рельеф» поверхности поликристаллических металлов [4-6]. Этот «рельеф» формируется декорированием поверхности порошком антрахинона и даже осаждением на поверхности каплями воды (см. рис. 2).

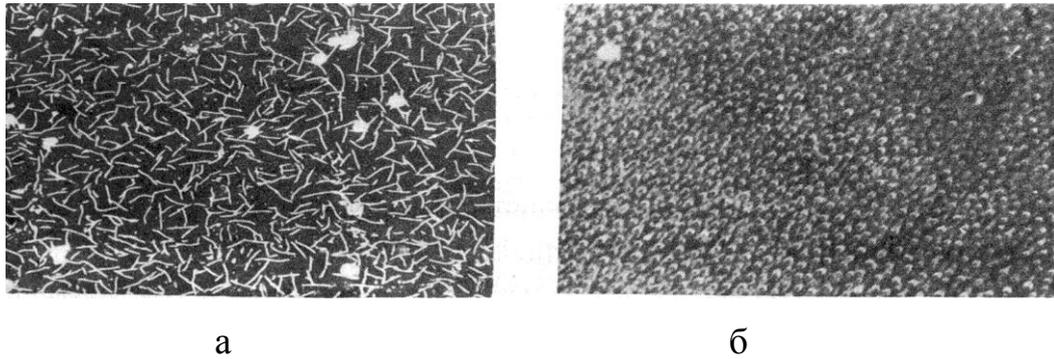


Рис. 2. Выявление электрического рельефа поверхности на стали:
а - осаждение антрахинона; б - адсорбция воды ($\times 100$) [7]

Рассмотрим две (любые) частицы (два кристалла в поликристаллической поверхности) Поверхностные потенциалы также различны. Следовательно, можно считать, что энергетическое состояние электрона в частицах 1 и 2 вблизи межзерновой границы также различны. Необходимо отметить, что уже только по указанной причине следует говорить о том, что поверхностный, точнее, межзеренный, потенциальный барьер будет существовать. При этом потенциалы по обе стороны от этого барьера, относящиеся к контактирующим частицам, будут различны. Следовательно, рассмотренная модель соответствует физической ситуации, наблюдаемой рядом авторов экспериментально.

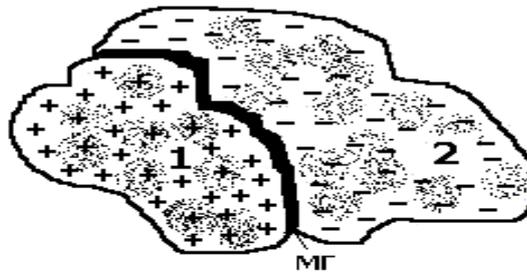


Рис. 3. Иллюстрация к использованию барьерной модели:

1, 2 – различные контактирующие частицы; МГ – межзонная граница

Это различие учитывается, если мы учтем, что и распределение дефектов в этих частицах также неодинаково, а межзонная граница является потенциальным барьером. Заметим, что кристаллохимическое строение этой границы может сильно отличаться от строения самой частицы. Например, она может представлять собой окислы, быть обогащена атомами других элементов (так называемые, примазки), иметь иной фазовый состав и др. Во всех этих случаях проводимость имеет другое, по сравнению с веществом частиц, значение. Отсюда следует, что для указанного случая можно применить барьерную модель. На рис. 4, область I и III относятся соответственно к частицам 1 и 2, значения потенциала для которых различны. Пусть $E_I < E_{III}$. Очевидно, что знак неравенства роли не играет. Область II – потенциальный барьер, соответствующий межзонной границе. Ось x перпендикулярна границе раздела и как видно из рис. 4, $w(x)$ имеет вид

$$W(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0, (I); \\ U, & 0 \leq x < a, (II); \\ V, & 1 \leq x, (III). \end{cases} \quad (19)$$

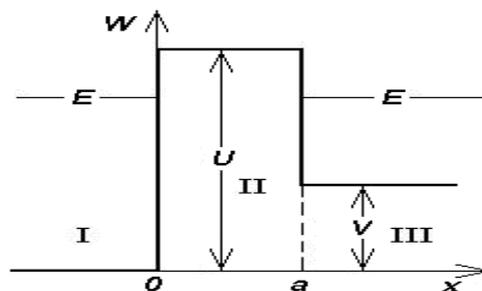


Рис. 4. Потенциальный барьер на границе между частицами

Рассмотрим движение частицы слева направо из области I в область III. Волновые уравнения для трех рассматриваемых областей имеет вид

$$\psi_j'' + k_j \psi_j = 0_{j=1,2,3}, \quad (20)$$

где :

$$k_1^2 = \frac{2mE}{\hbar^2},$$

$$k_2^2 = \frac{2m(E-U)}{\hbar^2},$$

$$k_3^2 = \frac{2m(E-V)}{\hbar^2}.$$

Решение ищем в виде

$$\psi_j = A_j \exp(ik_j x) + B_j \exp(-ik_j x), \quad j=1,2,3, \quad (21)$$

причем, не нарушая общности можно считать $A_1=1$, $B_3=0$, так как в области III нет волны, движущейся справа налево. Из условия непрерывности волновой функции и ее производной $\psi' = \frac{d\psi}{dx}$ следует

$$\begin{cases} \psi_1(0) = \psi_2(0), \\ \psi_1'(0) = \psi_2'(0), \\ \psi_2(a) = \psi_3(a), \\ \psi_2'(a) = \psi_3'(a). \end{cases} \quad (22)$$

Условия (22) с учетом (20) и (21) приводят к системе уравнений

$$\begin{cases} 1 + B_1 = A_2 + B_2 \\ k_1(1 - B_1) = k_2(A_2 - B_2) \\ A_2 \exp(ik_2 a) + B_2 \exp(-ik_2 a) = A_3 \exp(ik_3 a) \\ k_2 A_2 \exp(ik_2 a) - k_2 B_2 \exp(-ik_2 a) = k_3 A_3 \exp(ik_3 a). \end{cases} \quad (23)$$

Коэффициент прозрачности (коэффициент пропускания) барьера U для рассматриваемого случая равен

$$D = |A_3|^2. \quad (24)$$

A_3 как один из корней системы (23), описывается формулой

$$A_3 = \frac{4k_1 k_2 \exp(-ik_3 a)}{(k_1 + k_2)(k_2 + k_3) \exp(-ik_2 a) + (k_1 - k_2)(k_2 - k_3) \exp(ik_2 a)} \quad (25)$$

При движении частицы из области III через барьер в область I при той же функции $w(x)$ (см. (19)) также справедливы уравнения (98-101). Причем в этом случае $A_1 = 0$, $B_3 = 1$. В этом случае получим систему уравнений

$$\begin{cases} B_1 = A_2 + B_2, \\ k_1 B_1 = k_2 (B_2 - A_2), \\ A_2 \exp(ik_2 a) + B_2 \exp(-ik_2 a) = A_3 \exp(ik_3 a) + \exp(-ik_3 a), \\ k_2 A_2 \exp(ik_2 a) - k_2 B_2 \exp(-ik_2 a) = k_3 A_3 \exp(ik_3 a) - k_3 \exp(-ik_3 a), \end{cases} \quad (26)$$

из которой следует, что

$$B_1 = \frac{4k_2 k_3}{(k_1 + k_2)(k_2 + k_3) \exp(-ik_2 a) + (k_1 - k_2)(k_2 - k_3) \exp(ik_2 a)} \quad (27)$$

Коэффициент прозрачности барьера при движении частицы из области III влево равен

$$D_{\leftarrow} = |B_1|^2, \quad (28)$$

следовательно, отношение коэффициентов прозрачности

$$P = \frac{D_{\rightarrow}}{D_{\leftarrow}} = \frac{k_1^2}{k_2^3} = \frac{E}{E - V}. \quad (29)$$

Таким образом, различные степени дефектности по обе стороны от ювенильной поверхности и приводят к появлению на ней электрически заряженных участков с размерами много больших атомов. Следовательно, две контактирующие друг с другом частицы вследствие наличия между ними потенциального барьера приобретают различные по знаку электрические заряды. Поверхность поликристаллического металла в целом осталась электронейтральной. Но ее адгезионные и триботехнические свойства зависят не только от кристаллохимических свойств поверхностных слоев, но и наличия поверхностной зарядовой мозаики. В пределах отдельного зерна металлического поликристалла электрические заряды расходятся друг от друга на максимальные расстояния, то есть распределяются на периферии 24×3 ден. Именно такая электростатическая структура («электрический рельеф» по Г.И. Дистлеру)

проявлялся при декорировании металлических поверхностей частицами антрахинона [6].

Проведенные модельные исследования позволяют развить теоретические представления о механизме контактных процессов в металлополимерных системах различной структуры и функционального назначения.

Литература

1. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. М.: Мир 1979.– т. 1.– 399 с., т. 2.– 422с.
2. Лиопо В.А., Сенько А.Н., Шелег А.У. Поверхностные процессы на свежих сколах монокристаллов полупроводников системы TIn(SSe). // Збір. наук.праць, ПолтДПУ. Полтава: 2005. – в 8(47). – сер. ф.-м.н. – С. 47 – 52.
3. В.А. Лиопо, В.А.Струк, С.В.Авдейчик. Модельные представления о механизме действия допинговых наноразмерных модификаторов в полимерной матрице // Горная механика 2006. – №1. – С.19-30.
4. Дистлер Г.И. Исследование структуры и свойств твердых тел методами декорирования // Изв. АН СССР, Сер. физ. - 1972. - Т. 36. - С.- 1846.
5. Ю.М. Герасимов, Г.И. Дистлер. Ориентированная кристаллизация золота на поверхности кристалла NaCl через аморфную углеродную пленку // Кристаллография. - 1969. - Т.
6. Г.И. Дистлер, В.П. Власов, Ю.М. Герасимов и др. Декорирование поверхности твердых тел / М.: Наука, 1976. 112 с.
7. Шерманов Л.А., Мецик М.С., Голубь Л.М. Образование локальных активных центров на поверхности металлов под действием деформации и термообработки. / Исследования в области ФТТ. (ред. Проф. М.С. Мецик). Иркутск: Изд. ИГУ. 1974.– в. 2.– С. 85-90.
8. Гольдаде В.А., Струк В.А., Песецкий С.С. Ингибиторы изнашивания металлополимерных систем. – М.: Химия, 1993. – 240 с.

До механізму формування зарядова мозаїка на поверхні металевих полікристалів. В.А. Ліпо, В.А. Струк, А.Н. Сенько, Е.В. Овчинников, С.В. Авдейчик

У статті наведено дослідження бар'єрної моделі механізму виникнення мозаїки на поверхні металевих полікристалічних підкладок.

Before mehanizmu formuvannya charge mozaïka on poverhni metaleviih polikristaliv. V.A. Liopo, V.A. Struck, A.N. Senko, E.V. Ovchinnikov, S.V. Avdeychik

The article presents the research of the barrier model mosaic occurrence mechanism on the surface of the polycrystalline metal substrates.

УДК 535.24;535.6

ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КУБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ

***Б.Х. Каримов, доктор физико-математических наук, профессор
Ферганский Государственный университет, Узбекистан***

В статье приведены исследования фотовольтаического эффекта в кубических кристаллах, существующего в кристаллах без центра симметрии и описываемого тензора третьего ранга. Изложены результаты исследований объемного фотовольтаического эффекта в пьезоэлектрических кристаллах ZnS.

Ключевые слова: фотовольтаический эффект, кубические кристаллы, тензор.

1. Фотовольтаический эффект в кубических кристаллах ZnS.

Аномальный фотовольтаический эффект, наблюдавшийся ранее для ряда сегнетоэлектриков, являются частным случаем более общего фотовольтаического эффекта, существующего в кристаллах без центра симметрии и описываемого тензором третьего ранга α_{ijk} .

$$J_i = \alpha_{ijk} E_j E_k^* \quad (1)$$

Компоненты тензора α_{ijk} отличны от нуля для 20 асимметричных групп симметрии. При наличии центра симметрии $\alpha_{ijk} = 0$.

Фотовольтаический эффект был впервые экспериментально обнаружен в сегнетоэлектриках [1,2], а также в пьезоэлектриках [3,4]. Последовательная теория этого эффекта была развита в [5], где было показано, что он связан с приобретением неравновесным электроном избыточного импульса в зоне проводимости, величина и направление которого определяются асимметрией возбуждения, рекомбинации и рассеяния носителя в нецентросимметричном кристалле.

Согласна (1) при равномерном освещении линейно поляризованным светом однородного кристалла без центра симметрии в нем возникает фотовольтаический ток J_i . Знак и величина фотовольтаического тока J_i зависит от ориентации вектора поляризации света с компонентами E_j и E_k^* . Если электроды кристалла разомкнуть, то

фотовольтаический ток J_i генерирует фотонапряжения $V_i = \frac{J_i}{\sigma_T + \sigma_\phi} l$ где

σ_T и σ_ϕ соответственно темновая и фотопроводимость, l расстояние между электродами. Генерируемое фотонапряжение порядка 10^3 - 10^5 В, превышающее, таким образом, величину ширины запрещенной зоны E_g на два – четыре порядка. В соответствии с (1) и симметрией точечной группы можно написать выражения для фотовольтаического тока J_i . Сравнение экспериментальной угловой зависимости с $J_i(\beta)$ позволяет

определить фотовольтаический тензор α_{ijk} или фотовольтаический коэффициент $K_{ijk} = \frac{1}{\alpha^*} \alpha_{ijk}$ (α^* - коэффициент поглощения света).

Изложены результаты исследований объемного фотовольтаического эффекта в пьезоэлектрических кристаллах ZnS, принадлежащих к кубической точечной группе $\bar{4}3m$. В отличие от сегнетоэлектриков [4] фотовольтаический эффект в ZnS можно наблюдать только в поляризованном свете. В соответствии (1) и симметрией точечной группы при освещении кристалла в z направлении оси 4 порядка (оси z) выражение для фотовольтаического тока в направлении z имеет вид:

$$J_z = \frac{1}{2} \alpha^* K_{14} I \sin 2\beta \quad (2)$$

где β - угол между плоскостью поляризации света и осью x.

Измерение фотовольтаического тока J и генерируемого им поля $\vec{E} = \frac{J}{\sigma_\phi}$ (σ_ϕ - фотопроводимость) производилось путем снятия стационарных вольт-амперных характеристик [4].

Ориентационная зависимость $J_z = J_z(\beta)$, снятая при $T = 143$ К при освещении светом с длиной волны $\lambda = 500$ нм ($\alpha^* = 5$ см⁻¹) и интенсивностью $I = 2,3 \cdot 10^{-3}$ Вт·см⁻² Сравнение экспериментальной угловой зависимости с (2) даёт $K_{14} = 5 \cdot 10^{-9}$ А·см(Вт)⁻¹.

Таким образом, значение модуля K_{14} в исследованных кристаллах ZnS существенно выше, чем у известных сегнето- и пьезоэлектриков [4].

В интервале $T = 140 - 300$ К модуль K_{14} обнаруживает слабую температурную зависимость. Благодаря этому, а также из-за сильной температурной зависимости фотопроводимости σ_ϕ , генерируемое в направлении оси z поле $\vec{E} = \frac{J}{\sigma_\phi}$ изменялось в пределах от 1В·см⁻¹ ($T = 300$ К) до 40В·см⁻¹ ($T = 143$ К) и не зависело от интенсивности света I .

В кристаллах ZnS, выращенных гидротермальным методом фотовольтаический эффект имеет в основном примесный характер.

2. АФ эффект в кубическом пьезоэлектрике $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$.

В настоящем работе измерения проводились для выращенного гидротермальным методом титаната висмута. Кубический кристалл $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ принадлежит к точечной группе 23.

Как было показано, в отличие от сегнетоэлектриков фотовольтаический эффект в пьезоэлектрических кристаллах можно наблюдать только в поляризованном свете.

Образец имел форму пластинки, параллельной грани (100). Поверхность пластинки освещались линейно поляризованным светом на длине волны $\lambda=500$ нм, которая соответствует краю полосы собственной фотопроводимости $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$.

Все измерения проводились для постоянной интенсивности света $I=2,3 \cdot 10^{-3}$ Вт·см⁻² при температуре 133К. Фотовольтаический ток измерялся в направлении [100], для чего на поверхность пластинки наносились электроды из серебряной пасты, снабженные отверстием. Таким образом, свет распространился в направлении [100], а плоскость поляризация света, перпендикулярная грани [100], вращалась вокруг оси [100].

Для точечной группы 23, к которой принадлежит $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ выражение фотовольтаического тока J_x имеет вид (2).

Экспериментальная ориентационная зависимость фотовольтаического тока согласуется (2), для которого была измерена единственная отличная от нуля компонента фотовольтаического тензора $K_{14}=2 \cdot 10^{-10}$ А·см(BT)⁻¹ (при температуре 133К).

Максимум фотовольтаического тока J_x отвечало поле $\tilde{E}=10$ В·см⁻¹.

Аналогичные результаты были получены для полупрозрачных никелевых электродов, напылявшихся на грани [100].

Литература

1. V.M. Pridkin et. al., *Electrics*, v. 8, 433 (1974).
2. A.M. Glass, von. der Linde, T.j. Negraп, *Appl. Phys. Lett.*, v. 25, 233 (1974).
3. В.И. Белиничер, В.К. Малиновский, Б.И. Стурман, *ЖЭТФ*, т. 73, 692 (1977).
4. В.М. Фридкин. В.Н. Попов, *УФН*, т. 126, 657 (1978).
5. В.И. Белиничер, Б.И. Стурман, *УФН*, т. 130, 415 (1980).

Фотовольтаїчний ефект в кубічних кристалах. Б.Х. Каримов

У статті наведено іісследования фотовольтаїчні ефекту в кубічних кристалах, існуючого в кристалах без центру симетрії і описуваного тензора третього рангу. Викладено результати досліджень об'ємного фотовольтаїчні ефекту в п'єзоелектричних кристалах ZnS.

Fotovoltaičny efekt in kubichnih kristalah. B.H. Karimov

The article presents ііsledovaniya photovoltaic effect in cubic crystals, existing in crystals without a center of symmetry and described tensor of the third rank. The results of studies bulk photovoltaic effect in piezoelectric crystals ZnS.

УДК 621.745.56:621.3.014

**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ЭФФЕКТИВНОЙ ИНДУКТОРНОЙ СИСТЕМЫ ВЫСОКО-
ВОЛЬТНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ
МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА СИЛУМИНОВ**

С.С. Череповский, младший научный сотрудник

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины

А.С. Череповская, студентка группы Ен 3/1

Николаевский национальный аграрный университет

Методами математического моделирования установлены условия и особенности трансформации энергии в системе «индуктор-расплав» в зависимости от геометрических параметров данной системы и частотных параметров импульсного магнитного поля. Результаты могут быть использованы для проектирования комплексов магнитно-импульсной обработки расплава силуминов.

Ключевые слова: расплав, магнитно-импульсная обработка, численное моделирование, электромагнитное поле, электродинамическое воздействие.

Введение. В технологиях литейного производства используются различные методы обработки металлического расплава в жидком состоянии, при кристаллизации и твердении. Их основная задача – повышение качества литого металла, должна обязательно рационально сопрягаться в системе цена-качество, как того требуют условия современного производства. Сами же методы обработки являются многоцелевыми и многофакторными, но не универсальными. Поэтому актуальными являются задачи, направленные на повышение их эффективности при минимизации энергозатрат на обработку.

Одним из относительно новых методов является осевая магнитно-импульсная обработка расплавов (МИО), которая заключается в преобразовании электрической энергии, накопленной в батарее конденсаторов магнитно-импульсной установки (МИУ), с помощью индуктора в теплосиловое воздействие на обрабатываемый расплав через его поверхность. Положительное влияние МИО на расплавы показано рядом инициативных исследований как отечественных, так и зарубежных научных коллективов [1-4]. Однако подход к выбору параметров обработки и оборудования происходит методом перебора, на основании

уже існуючих джерел імпульсного струму, в основному шляхом калькування установок для магнітно-імпульсної штамповки.

Ціль роботи. Показати роль геометричних параметрів індукторної системи високовольтного обладнання для МІО розплава силумінів в процесах перетворення електричної енергії запасеної в батареї конденсаторів в термосилове вплив на об'єкт обробки.

Постановка задачі. Розглянемо індукторну систему з плоским індуктором, наведеному на рис. 1.

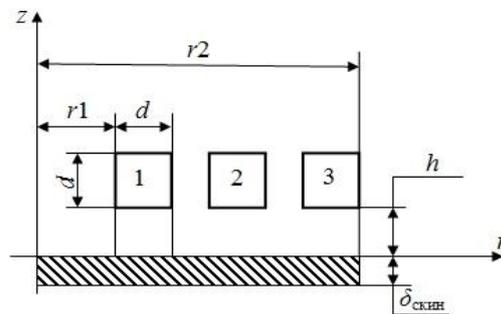


Рис. 1. Схематичне зображення системи «Індуктор-Розплав»:

- 1, 2, 3 – витки індуктора; d – ширина і висота витка;
- r_1 – внутрішній радіус індуктора; r_2 – зовнішній радіус індуктора;
- $\delta_{\text{скин}}$ – глибина проникнення індукційного струму в розплав;
- h – відстань між індуктором і розплавом

Система «Індуктор-Розплав» включає в себе індуктор з витками квадратного сечення, діелектричний немагнітний проміжок і певний об'єм поверхні оброблюваного розплаву.

Енергія магнітного поля, виділяється в робочому проміжку, т.е. між поверхнею розплаву і індуктором, йде на роботу силового впливу на розплав, теплову обробку поверхні розплаву і теплові втрати в індукторі.

Енергія магнітного поля, виділяється в робочому проміжку, т.е. між поверхнею розплаву і індуктором, витрачається на роботу по силовому впливу на розплав, теплову обробку поверхні

расплава и тепловые потери в индукторе. Точный расчет такой задачи, особенно с учетом скин-эффекта, представляет значительные трудности и, зачастую, опирается на оценки и эмпирический опыт даже для магнитно-импульсной штамповки [5, 6], т.е. технологической области, которая развивается довольно давно. Однако, как упоминалось ранее, процесс обработки расплава и твердого тела импульсными магнитными полями отличается своими целями и решаемыми задачами, поэтому напрямую перенести опыт, накопленный в области МИО металлов в твердом состоянии, нельзя. Отражение особенностей, относящихся к обработке силуминов, пока только на уровне оценок и описания сценариев процессов, представляет собой актуальную задачу.

Примем, что поле между витками индуктора и расплавом равномерно, тогда электромагнитная энергия в индукторе W_{em} и магнитная энергия в объеме между индуктором и расплавом W_m практически равны [6] и можно записать:

$$W_{em} \approx W_m, \quad (1)$$

Запишем это выражение через индуктивность системы «Индуктор-Расплав» $L_{и}$, Гн; напряженность магнитного поля в зазоре между индуктором и расплавом $H_{и}(t)$, А/м; ток, протекающий в индукторе при разряде емкостного накопителя $I(t)$, А:

$$L_{и} \cdot I^2(t) / 2 \approx \mu_r \mu_0 H_{и}^2(t) \cdot V / 2, \quad (2)$$

где μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; μ_r – относительная магнитная проницаемость; V – объем воздушной полости между поверхностью индуктора и расплавом, м³.

Объем V , в соответствии с допущением о равномерности распределения поля, определяем как

$$V = 2\pi \cdot h \cdot (r_2^2 - r_1^2). \quad (3)$$

Напряженность поля в объеме между индуктором и расплавом, в соответствии с законом полного тока, определяется выражением

$$H_{и} = I(t) \cdot N_{в} / (2 \cdot (r_2 - r_1)), \quad (4)$$

где N_b – количество витков индуктора.

Запишем выражения для $L_{и}$ в виде:

$$L_{и} = \frac{\mu_r \mu_0 \cdot \pi \cdot h \cdot N_b^2}{2} \cdot \left(\frac{r_2 + r_1}{r_2 - r_1} \right). \quad (5)$$

Используя выражения (2-5), можно через геометрические параметры индукторной системы и параметры разрядной цепи выразить и рассчитать такие электрические и энергетические параметры системы «Индуктор-Расплав» как, $L_{и}$, $H_{и}(t)$, W_m .

Проанализируем степень изменения значения $L_{и}$, а также максимальные значения поля $H_{и}$ и энергии W_m с учетом того, что максимальная амплитуда тока в индукторе, и, соответственно, в разрядной цепи генератора импульсных токов будет описываться выражением

$$I_{max} = U_0 \cdot \sqrt{C_0 / L_s}, \quad (6)$$

где U_0 – напряжение на зажимах конденсаторной батареи, В; L_s – суммарная индуктивность разрядного контура и индукторной системы, Гн; C_0 – емкость конденсаторных батарей, Ф.

Суммарная индуктивность в свою очередь равна

$$L_s = L_k + L_{и}, \quad (7)$$

где L_k – собственная индуктивность разрядной цепи, Гн.

Отношение энергии, запасенной в конденсаторах генератора импульсных токов (W_0), к магнитной энергии в зазоре между индуктором и расплавом (эффективность преобразования электрической энергии в магнитную) можно выразить соотношением:

$$W_m / W_0 = \frac{\mu_r \mu_0 \cdot \pi \cdot h \cdot N_b^2}{2L_s} \cdot \left(\frac{r_2 + r_1}{r_2 - r_1} \right). \quad (8)$$

Энергия магнитного поля в зазоре отвечает за формирование управляющих электродинамических воздействий и является функцией $f(r_1, r_2, N_b, L_k, L_{и}, U_0, C_0, h, \mu)$. Рассмотрим влияние геометрических параметров системы «Индуктор-Расплав» h , r_1 и r_2 на величину W_m . Для упрощения задачи выберем параметры разрядной цепи и индуктора, близкие к тем, которые использованы в работе [2]. Примем $U_0 = 20$ кВ;

$C_0=1$ мкФ; $L_k=2$ мкГн; h изменяется от 1 до 10 мм; $N_{\text{вит}}=3$; r_1 изменяется от 5 до 30 мм, материал – технически чистый алюминий.

Влияние временных параметров импульса тока на процесс формирования электродинамического воздействия на расплав можно оценить через эффективность преобразования магнитной энергии в зазоре в тепловую энергию в расплаве, выделяемую в поверхностном слое расплава, ограниченном глубиной скин-слоя, в котором течет индуцированный ток.

Для нашей системы «Индуктор-Расплав» примем допущение, которое имеет место во многих практических случаях [6, 8–9] о том, что частота и форма индуцированного тока совпадает с аналогичными параметрами тока в индукторе.

Результаты и обсуждение. Результаты расчётов по влиянию h и соотношения r_1 и r_2 на характеристики индукторной системы представлены далее на рис. 2.

Из полученных зависимостей (рис. 2) можно видеть, что хотя величина зазора h и увеличивает к.п.д. системы «Индуктор-Расплав», но при этом существенно снижает величину напряженности магнитного поля, что естественно отрицательно сказывается на амплитудном значении пропорциональных квадрату H_n генерируемых в расплаве пондеромоторных сил. Варьирование соотношением внешнего (r_1) и внутреннего (r_2) радиусов индуктора позволяет существенно (более чем на 35 %) повысить эффективность преобразования электрической энергии в магнитную в системе «Индуктор-Расплав», увеличивая одновременно напряженность магнитного поля H_n . Таким образом, варьирование соотношением r_1 и r_2 более выгодно, чем увеличение h . Суммарное увеличение эффективности преобразования энергии от варьирования геометрических параметров h , r_1 , r_2 может быть получено более чем в пятнадцать раз (от 3 до 53 %). Однако здесь следует учитывать, что

создание относительно узкого многовиткового индуктора сопряжено с рядом неучтенных в оценке параметров и конструктивных сложностей:

- резкого скин-эффекта;
- возможностей межвиткового пробоя;
- тепловой и электродинамической стойкости.

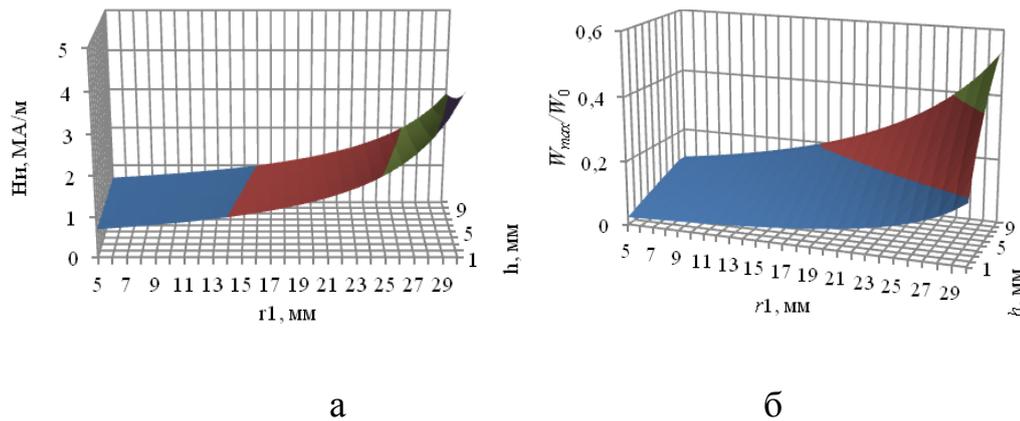


Рис. 2. Зависимость от величины зазора h и r_1 :

а - напряженности магнитного поля в объеме между индуктором и расплавом ; б - эффективности преобразования электрической энергии в магнитную

Полученные в работе результаты, в рамках выбранной постановки задачи, позволяют сформулировать следующие общие выводы.

Выводы. 1. Методами математического моделирования установлены условия и особенности трансформации энергии в системе «Индуктор-Расплав» в зависимости от геометрических параметров данной системы и частотных параметров импульсного магнитного поля.

2. Установлено, что геометрические параметры системы «Индуктор-Расплав» существенно и нелинейно влияют на эффективность преобразования энергии, выделяемой в индукторе в магнитную энергию, которая совершает работу над обрабатываемым расплавом. Варьированием геометрических параметров можно повысить к.п.д. преобразования

енергии в системе «Индуктор-Расплав» с 3 до 53 %, т.е более чем в пятнадцать раз.

3. Показано, что увеличение промежутка между индуктором и расплавом увеличивает эффективность преобразования энергии, но снижает амплитуду силового воздействия на расплав. Уменьшение внутреннего радиуса индуктора позволяет повысить и эффективность преобразования энергии и силовое воздействие. ,

Литература

1. Li Bo. Effect of temperature field on solidification structure of pure Al under pulse magneto-oscillation / Bo Li ., Yin Zhenxing., Yong Youngyoung., [etal.] // China foundry.– 1988.– Vol. 8(2).– P. 172–176.
2. Череповский С. С. Управляющие параметры магнитно-импульсной обработки расплава / С. С. Череповский // Металл и литье Украины. – 2014. – №. 12. – С. 32–33.
3. Чугунный Е. Г. Магнитоимпульсная обработка кристаллизующихся расплавов / Е. Г. Чугунный // Литейное производство. – 1996. – № 1. – С12–14.
4. Pe, Ning Mechanism of pulse magneto-oscillation grain refinement on pure Al/ Ning Pei, Gong Yongyong, Li Renxing, [etal.] // China foundry.–2011. - Vol. 8(1).– P. 41–50.
5. . Батыгин Ю. В. Физические основы возможных направлений развития магнитно-импульсной обработки тонкостенных металлов / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский, Л. Т. Хищенко //Електротехніка і електромеханіка.– 2004. – № 2.– С. 80–84.
6. Белый И. В. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / И. В. Белый, С. М. Фертик, Л. Т. Хищенко. – Харьков: Вища школа.–1970. – 190 с.
7. Подольцев А. Д. Элементы теории и численного расчёта электромагнитных процессов в проводящих средах / А. Д. Подольцев,

И. Н. Кучерявая. – К.: Изд-во Ин-та электродинамики НАН Украины, 1999. – 363 с.

8. Шнеерсон Г. А. Поля и переходные процессы в аппаратуре сверхсильных токов / Г. А. Шнеерсон. –М.: Энергоатомиздат, 1992. – 416 с.

9. Михайлов В. М. Импульсные электромагнитные поля / В. М. Михайлов. – Харьков: Высшая школа, 1979.– 140 с.

Физические предпосылки к проектированию эффективной индукторной системы высоковольтного технологического оборудования для магнитно-импульсной обработки расплава силуминов. С. С. Череповский, А.С. Череповская

Методами математического моделирования установлены условия и особенности трансформации энергии в системе «индуктор-расплав» в зависимости от геометрических параметров данной системы и частотных параметров импульсного магнитного поля. Результаты могут быть использованы для проектирования комплексов магнитно-импульсной обработки расплава силуминов

The physical preconditions for the effective inductor system designing of high voltage technological equipment for magnetic pulse treatment of silumins melt. S. S. Cherepovskiy, A. S. Cherepovskaia

By mathematical modeling methods conditions and characteristics of energy conversion in the "Inductor-Melt" system, depending on the geometric parameters of the given system and frequency parameters of a pulsed magnetic field are established. The results can be used for the equipment development for magnetic-pulse treatment of molten silumins.

УДК 664.73.05

**АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА
КОМБІКОРМІВ З ВДОСКОНАЛЕННЯМ КОНСТРУКЦІЇ
ПОДРІБНЮВАЧА ЗЕРНА**

І.В. Чернов, студент групи М6

Я.О. Шадзінський, студент групи М6

О.А. Горбенко, кандидат технічних наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет

В статті розглянуто технологічний процес виробництва комбікормів. На базі аналізу існуючих конструкцій для подрібнення зерна, запропоновано конструктивне рішення, яке дозволяє підвищити ефективність і якість подрібнення зернової складової комбікорму.

Ключові слова: подрібнювач зерна, дробарка ударно-стираючої дії, робоча камера, зернова складова комбікорму.

Технологія виробництва комбікормів є сукупністю операцій, послідовне виконання яких дозволяє отримати з кормової сировини, компоненти якої значно відрізняються один від одного по комплексу фізико-механічних властивостей, поживності, хімічному складу, рецептуру із заданими параметрами. При цьому кінцевий продукт у вигляді комбікорму враховує вид, стать, вік, сільськогосподарських тварин.

Технологічний процес приготування комбікормів поділяється на такі операції: приймання, зважування і зберігання сировини; очищення сировини від сторонніх домішок; вологотермічна обробка зерна, подрібнення зерна і інших компонентів; сушка і подрібнення мінеральної сировини; підготовка суміші мікродобавок з наповнювачем; введення в комбікорми рідких добавок; дозування компонентів згідно з рецептами; змішування компонентів; гранулювання або брикетування сумішей.

нижче твердість зернової культури, тим ефективніше вона подрібнюється при розрідженні повітря в робочій камері дробарки. Найбільш характерна зміна помелу готового продукту, що отримується при тиску повітря 10 кПа, в порівнянні з помелом продукту, отриманого при нормальному атмосферному тиску 101 кПа, склала: для жита – 25 %, для пшениці – 19,6%, для ячменю – 14,5%.

Запропоноване конструктивне рішення дробарки представлено в заявці №u201405262. Застосування винаходу дозволяє підвищити рівномірність подачі зерна до розгінних лопаток диску і до робочої поверхні ребристих дек з різними кутами зіткнення, що підвищить ефективність і якість подрібнення зернової складової комбікорму.

Це підтверджено дослідженнями, що проведені із застосуванням лабораторної установки.

По результатам проведеної роботи можна зробити наступні висновки. Проведений аналіз відомих технологій виробництва комбікорму дозволив узагальнити інформацію що до побудови процесу і складу технологічних ліній. Запропоновано конструктивне рішення дробарки, яка дозволяє підвищити ефективність і якість подрібнення зернової складової комбікорму.

Література

1. Крылов В. В. Технология производства комбикормов / В. В. Крылов, Л. П. Мищенко. – М.: Агропромиздат, 1978. – 265с.
2. Брежнев М. В. Машини для подрібнення зерна / М. В. Брежнев, Л. М. Луценко. – К.: Агропромиздат, 1981. – 248с.
3. Пат. 100273, МПК В02С 13/02 (2006.01). Зернодробарка / О. А. Горбенко, І. В. Чернов, О. Я. Чебан, М. В. Завірюха; заявник і патентовласник Миколаївський національний аграрний університет. - №u201405262; заявл. 19.05.15; опубл. 27.07.15, Бюл. №14.

Анализ технологического процесса производства комбикормов с усовершенствованием конструкции измельчителя зерна. I.V. Chernov, Y.O. Gadzinsky, O.A. Gorbenko

В статье рассмотрен технологический процесс производства комбикормов. На базе анализа существующих конструкций для измельчения зерна, предложено конструктивное решение, которое позволяет повысить эффективность и качество измельчения зерновой составляющей комбикорма.

Analysis of the technological process of animal feed production with improved design grain refiner. I.V. Chernov, Y.O. Gadzinsky, O.A. Gorbenko

The article describes the process of production of animal feed. Based on the analysis of existing structures to grind grain, it proposed a constructive solution that improves the efficiency and quality of grinding grain component of animal feed.

УДК 664.3.032.1

**АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ
ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР З ПОПЕРЕДНЬОЮ
ЕКСТРУЗІЙНОЮ ПІДГОТОВКОЮ СИРОВИНИ**

О.М. Євтушенко студент групи ЗМ6

С.С. Дребет, студент групи ЗМ6

А.А. Миргородський, студент групи М6

О.А. Горбенко, кандидат технічних наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет

В статті розглянуто технологічний процес переробки олійних культур з попередньою екструзійною підготовкою сировини. Лінія виробництва рослинних олій з попередніми екструдуванням сировини

дозволить: збільшити ступінь очищення рослинних олій, збільшити вихід готового продукту, збільшити якість готові олії, зменшити кількість обладнання і виробничі площі приміщення за рахунок використання екструдера-олієпреса, створити безвідходну і екологічно чисту технологію отримання рослинних олій, розширити спеціалізацію запропонованої лінії для отримання рослинних олій за рахунок випуску білково вітамінних концентратів.

Ключові слова: олійна сировина, екструзія, вальцовий верстат, екструдер-олієпрес, роторні дозатори, змішувач.

Олієжирова галузь в агропромисловому комплексі України займає провідне місце. В даний час перед олієжировою промисловістю стоять нові завдання, які пов'язані не тільки з кількісним нарощуванням обсягів виробництва, а й вимагають принципово нових підходів і рішень як в створенні інноваційних технологій і обладнання, так і з випуском продуктів харчування функціонального призначення. На теперішній час в Україні вирощують не лише соняшник, але й інші олійні культури, такі як ріпак. Для цього є всі підстави, адже ріпак має технічне, продовольче та кормове значення. У провідних країнах світу ця культура вважається стратегічною та займає важливе місце у продовольчих та енергетичних балансах.

Ріпак - цінна кормова культура, яка використовується для виробництва зеленого корму, вітамінного борошна, шроту, макухи тощо. Трав'яне борошно з ріпаку містить 18-20% білка, 38% шроту (макуха).

Доцільним в умовах сучасних олієпереробних підприємств є введення до технологічного процесу лінії екструдювання, що призведе до можливості реалізації вже готового компонента комбікорму. Досягнення цієї мети призведе до збільшення виходу олії при менших енергозатратах та отримання комбікормового компоненту як побічного продукту виробництва. Екструдер призначений для проведення процесу

екструдювання насіння олійних культур, в тому числі і насіння ріпаку, з подальшим використанням макухи для отримання олії методом пресування або для приготування комбікормів.

Лінія виробництва рослинних олій з попередньою екструзійною обробкою сировини працює наступним чином. Вихідна сировина з початковою вологістю 6,5 ... 7% надходить в обрушувач 1, де відбувається руйнування і відділення оболонки від ядра, далі рушанка надходить на насіннєвілки 2, де відбувається її поділ на ядро і лузгу, лузга надходить на вальцевий верстат 3, де відбувається її подрібнення до визначеного го гранулометричного складу і далі направляється в фільтр 6, а ядро направляють в екструдер-олійний 4, що складається з секції I попередньої екструзійної обробки сировини, де сировина стискається при високому тиску 7-8 МПа, нагрівається до температури 105 ° С, секцію II, де волога, що знаходиться в екструдованому матеріалі, переходить в пароподібний стан і відбір парів відбувається за допомогою вакуум-насоса 5 з виділенням значної кількості енергії, наявність вакууму дозволяє інтенсифікувати процес екструдювання, що призводить до вибуху і вспучивання продукту, далі продукт надходить в секцію III віджиму олії, де відбувається вилучення олії, яке витікає через зазори в зеєрній камері, потім нефільтровану олія змішують з подрібненим лушпинням і пропускають через фільтр, макуху, отриману з екструдера-олієпресу 4 направляють на дробарку 7 і далі в змішувач 12, відходи з фільтра, також надходять в змішувач 12, бункер для зберігання стабілізаторів 8 з встановленими в їх нижній частині роторними дозаторами 11, бункер для зберігання преміксів 9 до встановлених в їх нижній частині роторними дозаторами 11, бункер для зберігання вітамінів з встановленими в їх нижній частині роторними дозаторами 11 подають компоненти в певному співвідношенні за заздалегідь розробленою рецептурою, в змішувач де отримують білково-вітамінно мінеральний концентрат який направляють на упаковку.

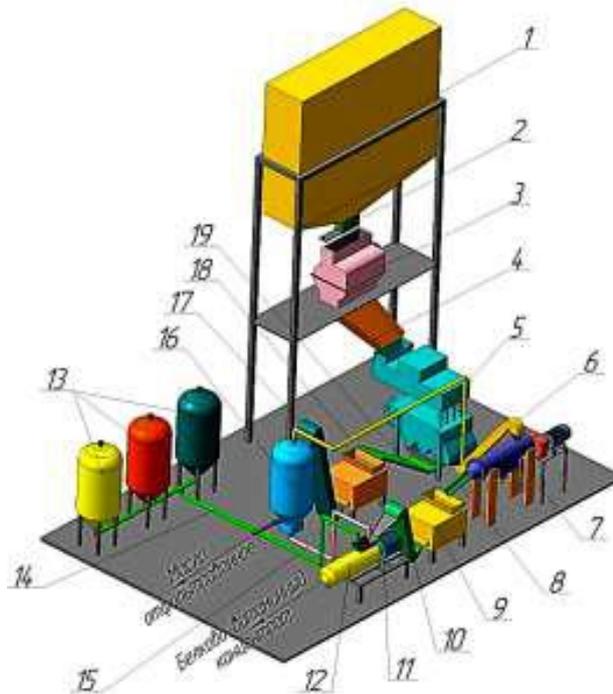


Рис. 1. Лінія виробництва рослинних олій з попередньою екструзійною підготовкою сировини:

1-обрушавальна машина; 2-насі́нневійки; 3-вальцьовий верстат, 4-екструдер-олієпрес, що складається з секції I попередньої екструзійної обробки сировини, секції II призначена для відводу парів, 5 -вакуум-насос, 6 - фільтр; 7-дробарка, 8-бункер для зберігання стабілізаторів, 9 - бункер для зберігання мінеральної сировини, 10-бункер для зберігання вітаміну, 11- роторні дозатори, 12- змішувач

Лінія виробництва рослинних олій з попередніми екструдуванням сировини дозволить: збільшити ступінь очищення рослинних олій, збільшити вихід готового продукту, збільшити якість готової олії, зменшити кількість обладнання і виробничі площі приміщення за рахунок використання екструдера-олієпреса, створити безвідходну і екологічно чисту технологію отримання рослинних олій, розширити спеціалізацію запропонованої лінії для отримання рослинних олій за рахунок випуску білково вітамінних концентратів.

Література

1. Бітюк О.В. Олійно-жирова промисловість України / О. В. Бітюк, В. О. Піддубник. – Агросвіт, 2005. – с.41.
2. Кретов И. Т. Оборудование пищевого концентратного производства / И. Т. Кретов, В. М. Кравченко. – М.: Агропромиздат 1988. – с.353.
3. Копейковский В. М. Технология производства растительных масел / В. М. Копейковский, С. И. Данильчук, Г. Н. Гарбузова и др. / Под ред. В. М. Копейковского. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – с.415.
4. Трисвятский Л. А. Хранение и технология сельскохозяйственных продуктов / Л. А. Трисвятский. – М.: «Агропромиздат». 1991. – с. 415.
5. Силюнская С. М. Экструзионные способы подготовки сырья к экстракции /С. М. Силюнская, С. Е. Антонова, Е. П. Ищенко, О. Ю. Алферников / Сб. трудов КНИИХП «Развитие современных технологий обработки сырья растительного и животного происхождения». – Краснодар: КНИИХП, 2004. – С. 133 -134.

Анализ процессов переработки масличных с предварительной экструзионной подготовкой сырья. О.М. Евтушенко, С.С. Дребет, А.А. Миргородський, О.А. Горбенко

В статье рассмотрены технологический процесс переработки масличных культур с предыдущей экструзионной подготовкой сырья. Линия производства растительных масел с предыдущими экструдированием сырья позволит: увеличить степень очистки растительных масел, увеличить выход готового продукта, увеличить качество готового масла, уменьшить количество оборудования и производственные площади помещения за счет использования экструдера-маслопресса, создать безотходную и экологически чистую технологию получения растительных масел, расширить специализацию предложенной линии для получения растительных масел за счет выпуска белково витаминных концентратов.

Analysis of the oil refining processes with preliminary extrusion preparation of raw material. O.M. Evtushenko, S.S. Drebet, A.A. Mirgorodskij, O.A. Gorbenko

The article describes the process of processing of oilseeds with the previous extrusion preparation of raw materials. The production line of oils with previous extrusion materials will allowed to increase the degree of purification, the yield of the final product, the quality of the finished oil, reduce the amount of equipment and manufacturing floor space by use, oil-presses extruder will create waste-free and environmentally friendly technology for the oil production, and expand the specialization of the proposed line to produce oil through the issuance of protein vitamin concentrates.

УДК 664.743.8

**АНАЛІЗ ВІДОМИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА КРУПИ
ГРЕЧАНОЇ**

О.О. Кропивницький, студент групи ЗМ6

А. В. Глєбов, студент групи М6

О.А. Горбенко, кандидат технічних наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет

В статті розглянуто відомі технології виробництва гречаної крупи. Досліджено спосіб виготовлення гречаної крупи, що дозволяє значно зменшити внутрішньозаводський оборот продукту, підвищити продуктивність і ефективність технологічного процесу вироблення крупи. Для підготовки зерна гречки до переробки в крупу після очищення її піддають гідротермічній обробці, що включає операції пропарювання, сушки, охолодження. Пропарювач зерна - апарат А9-БПБ з автоматичним управлінням призначений для обробки паром гречки, проса, вівса, пшениці, рису та ін.

Ключові слова: крупа гречана, гідротермічна обробка, лущення, пропарювач зерна.

Найважливішим завданням сільського господарства України залишається подальше збільшення виробництва крупи гречки для задоволення зростаючих потреб населення в продуктах харчування.

Скорочення сировинної бази призвело до зменшення на внутрішньому ринку пропозиції готової продукції, і як наслідок — різке підвищення цін на гречану крупу в торговельній мережі. Стабільно висока ціна на гречану крупу тримається протягом останніх двох років і у зв'язку зі зменшенням валового виробництва зерна є велика вірогідність, що це зростання цін — не останнє.

Технологія переробки гречки включає наступні основні операції: очищення зерна і його гідротермічна обробка, фракціонування, лущення, поділ продуктів лущення. Для очищення зерна використовується сито-повітряний і магнітний сепаратори будь-якого типу, а також каменевідбірник і трієр. Гідротермічну обробку зерна виконують шляхом обробки його паром в пропарювачі з подальшим підсушуванням у вертикальній паровій сушарці. Фракціонування зерна проводять на 6-7 фракцій в розсівах і пофракційно лущать в вальцедекових верстатах. Після лущення лузгу відокремлюють в аспіраторах, суміш обрушених і необрушених зерен сортують в розсівах, при цьому не обрушені зерна направляють на повторне лущення. Відбір залишків домішок, що містяться в крупі, проводять шляхом пропуску її через падді-машину.

Використання операцій пропарювання і сушіння, вимагає значних витрат теплової енергії, тому висока рентабельність переробки гречки в значній мірі забезпечується за рахунок тепла, отриманого спалюванням гречаного лушпиння.

Переробка зерна гречки в крупу енергоємний процес. Недостатньо реалізуються резерви збільшення виходу і поліпшення якості готової

продукції, що пов'язано не тільки з побудовою технологічного процесу, режимами обробки сировини, а й досконалістю використовуваного технологічного обладнання.

За даними [1] запропонований спосіб переробки зерна гречки в крупу, що включає очищення його від домішок, гідротермічну обробку, відволожування і сушку зерна, лушення, відділення крупи, що відрізняється тим, що переробку зерна ведуть без поділу на фракції і після гідротермічної обробки при відволожуванні зерно підсушують до вологості 15-18%, а лушення ведуть відцентровим лушильником при швидкості зіткнення зерна з нерухомою перешкодою 55-58 м/с і після виділення з промпродукту крупи виробляють її досушування до вологості зберігання 13%.

Цей спосіб дозволяє отримати якісну переробку гречки в зерно. Інший спосіб вироблення гречаної крупи [2] включає очищення і лушення несортованих за розмірами на фракції зерна (рис.2). Лушені зерна від нелущених відокремлюються на пористих сортувальних столах після попереднього видалення оболонок, мучки і дроблення.

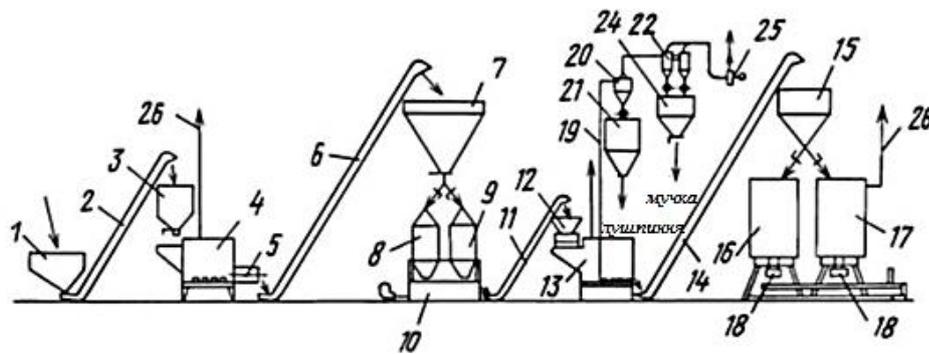


Рис. 1. Процес переробки зерна гречки в крупу:

1-приймальний бункер; 2, 6, 11 і 14-транспортери; 3, 7, 12, 15, 21 і 24 - бункери; 4 і 13-насіняочисні машини; 5-трієр; 8 і 9-агрегати пропарювання гречки; 10-відволожувач; 16 і 17-вертикальні сушарки; 18-фасувальна установка крупи; 19-матеріалопроводи; 20-циклон розвантажувач; 22-батареїний циклон; 25-вентилятор; 26-трубопровід з обладнанням пиловідокремлення

Для поліпшення якості та сортності крупи, а також збільшення її виходу, несортвані за розмірами зерна послідовно в чотири рази луцаться на обрешиненних валках. Потім після луцення подають на наступні машини верхні сходи, отримані після сортування зерна, а крупу витягують послідовно в кілька етапів, сортуючи збагачену суміш на круповідокремлювальних машинах. Далі верхній сход, отриманий після сортування, направляють на контроль, а нижній сход останнього етапу круповідокремлення я - в першу зону сортування. Кратність луцення і відповідно число етапів круповідокремлення рівні чотирьом.

Зерно (гречка) надходить на 1-ю систему луцення, що включає машини з гумовими валками типу ЗРД. Далі продукти луцення направляються на розсівання 2. З сит з отворами діаметром 4 мм розсівання 2 після провіювання на аспіратор 3 продукт направляють на сортувальну машину 4 з зворотно-поступальним рухом сит для відділення сторонніх домішок і додаткового виділення лушеного зерна. З сит з отворами діаметром 4 мм сортувальної машини 4 продукт надходить на 2-ю систему луцення 5. Сход з сит з отворами розміром $1,7 \times 20$ мм розсівання 2 і сортувальної машини 4, збагачений продуктами луцення (вміст ядра 90 ... 95%), отриманими після сита з отворами діаметром 4 мм, направляється на круповідокремлювальні машини 6 з ніздрюватими столами (I етап відділення ядриця), що коливаються з частотою не більше $3,3 \text{ c}^{-1}$. Виділена ядриця направляється на контрольні круповідокремлювальні машини 7, а продукт, одержуваний нижнім сходом з круповідокремлювальних машин 6, направляється на круповідокремлювальні машини 8 (II етап відділення ядриці). Верхній сход круповідокремлювальних машин 6 і 8 йде для додаткового контролю на сортувальну машину 9, звідки сход з сита з отворами розміром $1,7 \times 20$ мм надходить на контрольні круповідокремлювальні машини 7.

Продукти направляються на розсівання 10 після 2-ї системи лушення 5. Сход з сита з отворами діаметром 4 мм розсівання 10 після провіювання на аспіратори 11 і просіювання на сортувальній машині 12 надходить на 3-ю систему лушення 13. Продукт, що йде сходом з сит з отворами розміром $1,7 \times 20$ мм розсівання 10, направляється на круповідокремлювальні машини 14. Після круповідокремлювання продукт верхнього сходу (ядриця) надходить на контрольні системи круповідокремлювальних машин 7, а нижні сходу – на круповідокремлювальні машини 15. Продукти надходять на розсівання 16 після 3-й системи лушення 13. Сход з сита з отворами діаметром 4 мм розсівання 16 після провіювання на аспіратор із замкнутим циклом повітря 17 і просіювання 14 на сортувальній машині 18 надходить на 4-ю систему лушення 19. Сход з сита з отворами розміром $1,7 \times 20$ мм розсівання 16 разом з продуктом, надходять від сортувальної машини 12, направляється на круповідокремлювальні машини 20 (III етап відокремлювання).

Після круповідокремлювання продукт верхнього сходу (ядриця) надходить на контрольні круповідокремлювальні машини 7, а нижні сходу - на круповідокремлювальні машини 15 або 22. Продукти лушення машини 19 направляються на розсівання 21. Сход з сита з отворами діаметром 4 мм розсівання 21 повертається на розсівання 2. Сход з сита з отворами розміром $1,7 \times 2,0$ мм розсівання 21 надходить на круповідокремлювальні машини 22. Після круповідокремлювальних машин 22 продукт верхнього сходу (ядриця) направляється на вибій, а нижнього сходу - на розсівання 2.

Лушпиння, що відвіюється на аспіраторах 3, 11 і 17, направляється на контроль (на кресленні не показаний). Борошно висівають на розсівах 2, 10, 16 і 21 і сортувальних машинах 4, 9, 12 і 18, також надходять на контроль.

Так як розміри зерен гречки коливаються в широких межах, технологічний процес передбачає сортування (попереднє і остаточне) гречки на шість фракцій за допомогою розсівів або крупосортувальних

машин з подальшим луценням кожної фракції гречки окремо на вальцедекових верстатах. Ядрицю виділяють також пофракційно на розсівах, що вимагає розвиненого технологічного процесу. В цьому полягають основні особливості існуючого технологічного процесу вироблення гречаної крупи.

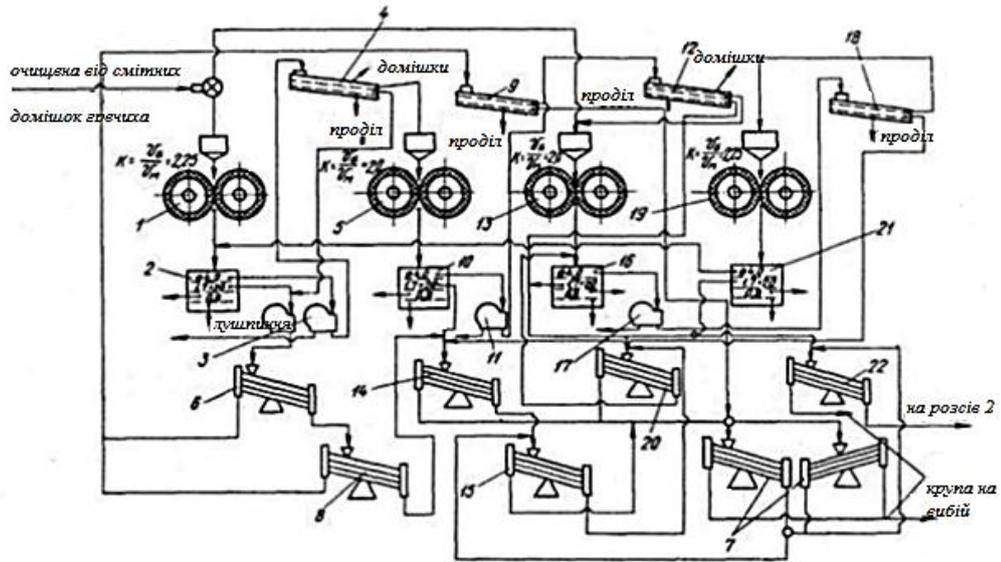


Рис. 2. Вдосконалена технологічна схема виробництва гречаної крупи: 11, 5, 13, 19 - відповідно 1-, 2-, 3-, 4-я системи луцення; 2, 10, 16, 21 - розсіви; 3, 11, 17 - аспіратори із замкнутим циклом повітря; 4, 12, 18 - сортувальні машини; 6, 7, 8, 14, 15, 20, 22 - круповідокремлювальні машини

Цей спосіб виготовлення гречаної крупи дозволяє значно зменшити внутрішньозаводський оборот продукту, підвищити продуктивність і ефективність технологічного процесу вироблення крупи. Для підготовки зерна гречки до переробки в крупу після очищення її піддають гідротермічній обробці, що включає операції пропарювання, сушки, охолодження. Пропарювач зерна - апарат А9-БПБ з автоматичним управлінням призначений для обробки парою гречки, проса, вівса, пшениці, рису та ін.

Література

1. Демский А. Б. Оборудование для производства муки и крупы: Справочник / А. Б. Демский, М. А. Борискин, В. Ф. Веденьев, Е. В. Томаров, А. С. Чернолихон. – СПб, Изд-во «Професия», 2000. – 624 с.
2. Каминский В. Д. Производство крупы: Справочное издание / В. Д. Каминский, Н. В. Остапчук. – Изд-во «Урожай», 1992. – 58 с.
3. Филин В. М. Шелушение зерна крупяных культур. Совершенствование технологического оборудования / В. М. Филин, Д. В. Филин – М.: «ДеЛи принт», 2002. – 135 с.
4. Салун И. П. Крупы и их хранение / И. П. Салун. – М.: «Економика», 1967. – 133 с.

Анализ известных технологий производства крупы гречневой.
О.О. Кропивницький, А.В. Глебов, Е.А. Горбенко

В статье рассмотрены известные технологии производства гречневой крупы. Исследован способ изготовления гречневой крупы, что позволяет значительно уменьшить внутризаводской оборот продукта, повысить производительность и эффективность технологического процесса выработки крупы. Для подготовки зерна гречихи к переработке в крупу после очистки ее подвергают гидротермической обработке, включая операции пропаривания, сушки, охлаждения. Пропарщик зерна - аппарат А9-БПБ с автоматическим управлением предназначен для обработки паром гречки, проса, овса, пшеницы, риса и др.

Analysis of technologies buckwheat production. О.О. Kropivnickij,
A.V. Glebov, O.A. Gorbenko

The article describes the known technology of buckwheat production. Researched method of producing buckwheat, which can significantly reduce in-plant product turnover, increase productivity and efficiency of the process to develop grains. To prepare for the processing buckwheat groats in after

cleaning it is subjected to hydrothermal treatment, which includes operations of steaming, drying, cooling. Grain steamer – designed for steaming buckwheat, millet, oats, wheat, rice and others.

УДК 664.73.05

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ТА РЕЖИМНИХ
ПАРАМЕТРІВ ДРОБАРКИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА**

А.Д. Полудень, студент групи М6

О.О. Стрюк, студент групи М6

В.С. Некрасов, студент групи М6

О.А. Горбенко, кандидат технічних наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет

На базі аналізу існуючих вітчизняних та зарубіжних конструкцій для дроблення фуражного зерна, запропоновано конструктивне рішення, яке може бути застосоване у господарствах різних форм власності.

Ключові слова: зернодробарка, фуражне зерно, перетирання зерна, роздавлювання, розбивання, різання, голкоподібний ударний елемент.

При виробництві продукції тваринництва головним фактором є створення і ефективне використання кормової бази, в якій зерновій складовій відводиться першорядна роль.

Наявність сировини власного виробництва та можливість застосування білково-вітамінних добавок робить можливим отримання в умовах сільськогосподарських підприємств кормів власного виробництва для забезпечення тваринництва.

Дослідженнями встановлено, що застосування в тваринництві високоякісних кормів, збалансованих по поживності, підвищують на 25-30% продуктивність тварин. Кожен згодований центнер концентратів, в порівнянні з зернофуражними, дасть додатково 3-4кг м'яса.

Таким чином, розробка, модернізація і впровадження нових технічних рішень машин для підготовки кормів до згодовування, в тому числі дробарок зерна є актуальними.

Метою наукової роботи є обґрунтування конструктивних та режимних параметрів дробарки фуражного зерна, що може бути застосоване у виробничих умовах господарств різних форм власності для забезпечення поголів'я тварин концентрованими кормами.

Відомі різні способи силового впливу на матеріал, який переробляється. Найпоширеніші механічні способи подрібнення, які відзначаються простотою, надійністю і високою продуктивністю обладнання такі як дроблення ударом, стискання або розмелювання, розколювання, плющення, різання.

Аналіз конструктивних схем і досліджень робочого процесу дробарок показує, що основні показники їх роботи, такі, як витрата енергії і якість одержуваного продукту не повною мірою відповідають сучасним вимогам підготовки кормів до згодовування тваринам. Тим не менш, можливості подальшого підвищення ефективності роботи дробарок не вичерпані, і необхідно працювати над створенням нових конструктивних рішень.

Для вирішення завдань дослідження процесу подрібнення зерна спроектована експериментальна установка з голкоподібними робочими елементами.

У робочій камері дробарки розміщені ротор з голкоподібними елементами, решето, деки. Весь простір робочої камери можна умовно розділити на 4 сектори: I - сектор завантаження, II - сектор першої деки, III - сектор решета, IV - сектор другої деки.

Подрібнення частинок матеріалу відбувається за рахунок їх послідовних механічних взаємодій з активними (ротор) і пасивними (решето, деки) робочими органами. Цей процес відбувається в кільцевому повітряно-продуктовому шарі, що складається з 2-х зон: А - зона дії

активних робочих елементів, Б - зона дії пасивних робочих органів. Працює дробарка наступним чином. Ротор здійснює обертальний рух. Зерно з приймального бункера надходить у робочу камеру, де подрібнюється під дією голкоподібних елементів ротора, а також, за рахунок ударів об деки і решето.

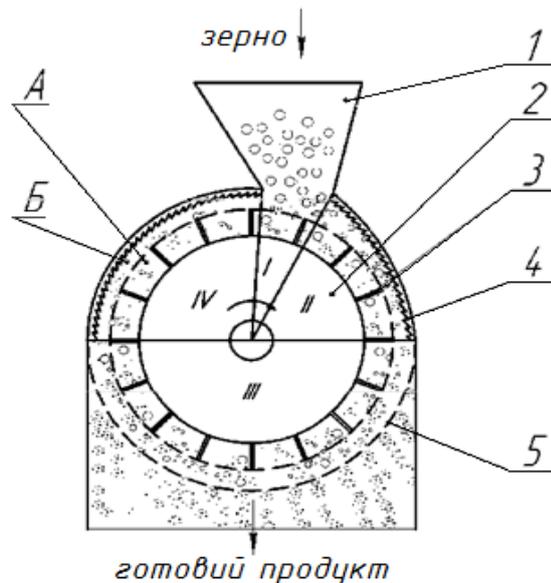


Рис. 1. Схема подрібнення матеріалу в дробарці з голкоподібними робочими елементами:

1 - завантажувальний пристрій; 2 - ротор; 3 - голкоподібний робочий елемент; 4 - дека; 5 - решето; I - сектор завантаження; II - сектор першої деки; III - сектор решета; IV - сектор другої деки; А - зона дії голкоподібних робочих елементів; Б - зона дії пасивних робочих органів

Подрібнене зерно через отвори решета надходить у зарешітний простір, звідки потрапляє в контрольну тару.

По результатам проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

- У відповідності із завданням виконано аналіз конструкцій машин для подрібнення зерна та конструкцій машин виконаних на рівні винаходів.
- Обґрунтовано конструктивні параметри ротора з

голкоподібними робочими елементами для подрібнення фуражного зерна: довжина голкоподібного елемента - 40-50 мм; діаметр - 4-6 мм; маса - 9-40 г.

- Обґрунтовано і експериментально підтверджено режимні параметри ротора з голкоподібними робочими елементами. Окружна швидкість ротора - 65-70 м/с, кількість голкоподібних елементів - 900-1100 шт./м².

- Дробарка з експериментальним ротором дозволяє отримати продукт більш вирівняного гранулометричного складу, ніж дробарка з серійним ротором. При модулі помелу 1,1 мм, вміст великої фракції знижується на 2-2,5%, дрібної фракції - на 3-4%.

Література

1. Булгаков В.Є. Довідник оператора по вирощуванню і відгодівлі великої рогатої худоби / В.Є. Булгаков, О. А. Сова О. А. – С. Урожай, 1989. – 83 с.
2. Ревенко І. І. Машиновикористання у тваринництві / І.І. Ревенко, В.М. Манько, В.І. Кравчук; За ред. І.І. Ревенка. – К: Урожай, 1999. – 208 с.
3. Кукта Г. М. Удосконалення експлуатації машин і обладнання тваринницьких ферм і комплексів / Г.М. Кукта, В.П. Гейфман, В.І. Дешко та ін.; За ред. Г.М. Кукта. – К: Урожай, 1989. – 224 с.
4. Кукта Г. М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г. М. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.
5. Крилов В.В. Технологія виробництва комбикормів / В. В. Крилов, Л. П.Мищенко. – М.: Агропромиздат, 1978. – 265с.

Обоснование конструктивных и режимных параметров дробилки фуражного зерна . А.Д. Полудень, О.О. Стрюк, В.С. Некрасов, О.А. Горбенко

На основе анализа существующих отечественных и зарубежных конструкций для дробления фуражного зерна, предложено конструктивное решение, которое может быть применено в хозяйствах различных форм собственности

Background design and operational parameters of the crusher feed grain.
A.D. Poluden, O.O Serdyuk, V.S. Nekrasov, O.A. Gorbenko

Based on analysis of existing national and international structures for crushing coarse grains , proposed a constructive solution that can be used in farms of different ownership.

УДК 62-533.65

АНАЛІЗ ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА

П.П.Солодовник, студент групи Енбм

Миколаївський національний аграрний університет

В статті приведені результати аналізу контролю технологічних процесів охолодження і пастеризації молока, а також засоби автоматизації даних процесів. Розглянуті найпоширеніші види температурних датчиків та їх принцип дії. В загальних рисах окреслені доцільні напрямки роботи з вдосконалення процесу пастеризації.

Ключові слова: пастеризація молока, регулювання температури, позистори, терморезистори, мікроконтролер.

Технологія пастеризації була відкрита в середині 19-го століття французьким мікробіологом Луї Пастером. Дана технологія застосовується для знезараження харчових продуктів, а також для подовження їх терміну зберігання.

На сучасному рівні ця технологія неодноразово вдосконалювалась засобами автоматизації та іншими інноваціями, що стосуються використання новітніх досягнень науки і техніки, а також новими конструктивними матеріалами.

Вагомий вклад в розвиток автоматизації технологічних процесів внесли , Решетюк В.М., Марченко А.Д., Чубов Д.С., Проценко Р.Д., Мозоленко Е.Н., Жулай Є.Л. та інші [2], Барало О.В. [3].

Технологія являє собою процес одноразового нагрівання, як правило рідких продуктів чи речовин до 60 °С тривалістю до однієї години або при температурі 70-80 °С протягом 20-30 хв.

Залежно від виду і властивостей харчової сировини використовують різні режими пастеризації. Розрізняють тривалу (при температурі 63-65 °С протягом 30-40 хв), коротку (при температурі 85-90 °С протягом 0,5-1 хв) і миттєву пастеризацію (при температурі 98 °С протягом декількох секунд).

Цілі пастеризації наступні:

- знищення патогенної мікрофлори, отримання продукту, безпечного для споживача в санітарно-гігієнічному відношенні з максимально збереженими властивостями даного продукту у свіжому вигляді;
- зниження загального бактеріального складу та ферментів сирого продукту, які спричиняють псування пастеризованого продукту та зниження його стійкості при зберіганні;
- цілеспрямована зміна фізико-хімічних властивостей продукту для отримання заданих властивостей готового продукту(в'язкості, щільності згустку, тощо) [1].

Для того, щоб забезпечити населення продукцією, яка виробляється у далеких або порівняно віддалених економічних регіонах доцільно використовувати процес пастеризації продукції для збільшення терміну їх збереження, а отже і можливості їх дальніх перевезень. Об'єм продуктів, що підлягають пастеризації дуже значний, тому пріоритетними напрямками робіт з вдосконалення та створення нових пастеризаційно-

охладжувальних установок є зниження енергоємності теплообмінних процесів, мінімізація їх геометричних параметрів, зниження вартості технологічного процесу і, як наслідок – готової продукції і загалом – оптимізація процесу по всіх можливих напрямках.

Пастеризація молока може бути тривалою, що проходить в спеціальних ваннах та швидкісною, що проходить в проточних пластинчастих апаратах. Для охолодження молока в молочних відділеннях тваринницьких ферм використовують водоохолоджувальні установки АВ-30, УВ-10, ТХУ-14, які працюють з резервуарами охолодниками молока та проточними пластинчастими охолоджувачами [3].

Іноді молоко необхідно транспортувати на значні відстані і для того, щоб продукт не зіпсувався його треба швидко охолодити з $+36^{\circ}\text{C}$ до $+4^{\circ}\text{C}$. В таких випадках використовують різного роду охолоджувальні установки, серед яких найпоширенішими в умовах деякої відсталості вітчизняної харчової і аграрної промисловості є ТОМ-2А, МКА-20(виробництво колишньої ГДР), ТОВ-1, ТО-2 та інші. Використовують такі резервуари в невеликих молочних підприємствах та пунктах прийому молока. Їх місткість коливається в межах 500...2000 літрів [4].

Автоматизована пастеризаційна установка ОПФ-1 призначена для відцентрової очистки(видалення механічних і частково бактеріальних домішок), пастеризації(нагрів молока з метою стерилізації), витримки молока і його охолодження.

В автоматизованій пластинчатій пастеризаційно-охолоджувальній установці (рис. 1) робочий процес проходить наступним чином. З молокозбірника молоко поступає в зрівнювальний бак 1. Насосом 2 молоко подається в секцію I пластинчатого апарата (секцію рекуперації), де воно нагрівається за рахунок теплообміну з гарячим молоком, що йде від секції пастеризації через витримувач 5. Нагріте до $37...40^{\circ}\text{C}$ молоко направляється в молокоочисник 4, а звідки подається в II секцію

рекуперації, де проходить його донагрів пастеризованим молоком. З другої секції молоко переходить в секцію III пастеризації, де за рахунок теплообміну з гарячою водою нагрівається до температури 76 чи 90°C (в установці ОПФ-1-300).

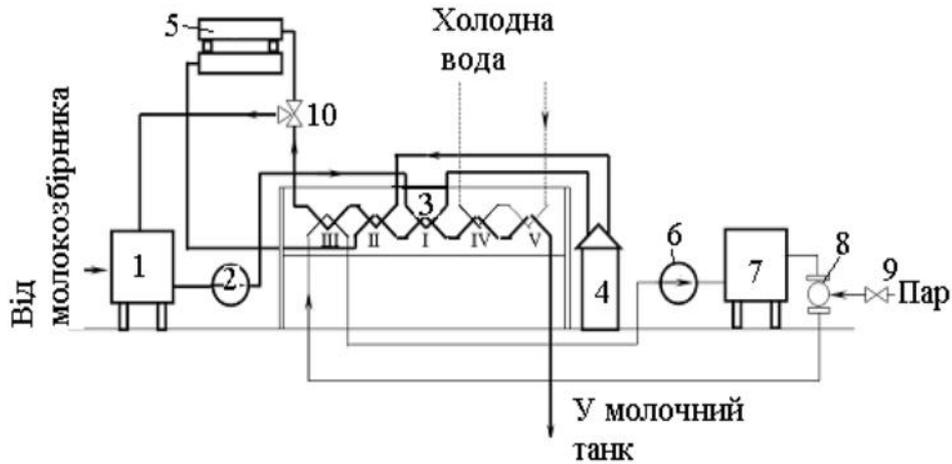


Рис. 1. Технологічна схема пастеризатора ОПФ-1:

- 1– зрівнювальний бак; 2–молочний насос; 3– пластинчатий апарат;
 4– молокоочисник; 5– витримувач; 6–водяний насос; 7– бойлер;
 8– інжектор; 9– електрогідравлічний клапан; 10–перепускний клапан;
 I– перша секція рекуперації; II– друга секція рекуперації; III–секція пастеризації; IV, V– секції охолодження

Після секції пастеризації молоко проходить через витримувач в I і II секції рекуперації, де віддає частину тепла холодному молоку і його температура знижується до 20..25°C. В подальшому це молоко послідовно проходить секції охолодження IV та V, де його температура знижується до 5...8°C в залежності від початкової температури охолоджуючої води [3].

Отже, як видно з технологічної схеми комплексного процесу (очистка-пастеризація-витримка-охолодження) – на певних етапах необхідно провадити точний контроль температурного режиму процесів. А саме:

Нагріте до 37...40°C в секції I пластинчатого апарату, молоко в очиснику проходить очищення молока від механічних домішок, а далі

слідуює в секцію II, де молоко догрівається за рахунок теплообміну з молоком яке вже пройшло пастеризаційний цикл. В результаті пастеризований продукт частково охолоджується(має на виході з пастеризатора температуру 76 чи 90°C) внаслідок теплообміну з молоком, що вийшло з секції I. Далі – підігріте молоко догрівається до температури пастеризації, де проходить його короткочасна витримка або доведення до температури пастеризації без витримки.

З вищевказаного слідуює, що контроль за температурою нагрівання слід провадити в секції I рекуперації та в секції III – пастеризації.

Робота перетворювачів і датчиків температури ґрунтується на зміні електричного опору, термо-ЕРС, лінійного і об'ємного розширення твердих тіл, рідких і газоподібних середовищ. Термометри опору мають чутливий елемент, виконаний з мідного(ТСМ) та платинового (ТСП) проводу і напівпровідникового матеріалу. Залежність опору таких перетворювачів від температури визначається їх градуванням (довідникові дані) [2].

В сучасних технологічних процесах контроль за рівнем температури провадиться за допомогою термопар, терморезисторів та позисторів.

Використання в даному процесі(пастеризація) термопар недоцільне, оскільки нагрів рідини відбувається нерівномірно, навіть при перемішуванні її, що може спричинити значні похибки вимірювання. А також тому, що сигнал на виході термопар – аналоговий, тому для суміщення такого датчика з мікроконтролером необхідна додаткова апаратура – аналого-цифровий перетворювач (АЦП),тощо і, як наслідок – більші капіталовкладення.

Більш доцільне використання напівпровідників – терморезисторів або позисторів, що мають однаковий принцип дії, але різнонаправлені температурні коефіцієнти опору. Такі прилади цілком сумісні з сучасними програмованими мікроконтролерами, при цьому існують стандартні ряди типоміналів позисторів і терморезисторів під розроблені типи

контролерів. Вагомою перевагою таких приладів над термомпарами є їх собівартість, а також простота в заміні і експлуатації.

Таким чином, перевагою таких АСУ на базі сучасних напівпровідників та мікроконтролерів є зниження трудомісткості технологічних процесів та експлуатації технологічного обладнання, мінімальне втручання людини (досить одного фахівця, який за показами обладнання буде коригувати перебіг процесу). Це сприятиме зростанню економічного ефекту виробництва, збільшенню енергоефективності з можливим подальшим збільшенням потужностей виробництва.

Література

1. Пастеризація молока [Електронний ресурс] / – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <http://webfermer.org.ua/tvarynnyctvo/korovy/pasteryzacija-moloka.php>.
2. Справочник по механизации и автоматизации в животноводстве и птицеводстве / Марченко А.С., Кистень Е.Г., Лавриненко Ю.Н. та ін.]. – Киев: Урожай, 1990. – 456 с.
3. Барало О.В. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування / Барало О.В.. – Київ: "Аграрна освіта", 2010. – 506с.
4. Справочник помеханизации животноводческих ферм и комплексов – Москва: "КОЛОС", 1984. – 336 с.

Анализ датчиков температуры для автоматизации пастеризации молока.

П.П. Солодовник

В статье приведены результаты анализа контроля технологических процессов охлаждения и пастеризации молока, а также средства автоматизации данных процессов. Рассмотрены самые распространенные виды температурных датчиков и их принцип действия.

В общих чертах выведены целесообразные направления работы по совершенствованию процесса пастеризации.

Analysis of temperature sensors to automate the pasteurization of milk.

P.P. Solodovnyk

The article presents the results of the analysis of control of technological processes of cooling and milk pasteurization, as well as automation of these processes. Considered the most common types of temperature sensors and their principle of action. In General Trotter outlines appropriate areas for improvement the process of pasteurization.

УДК 664.723

АНАЛІЗ СПОСОБІВ СУШІННЯ ЗЕРНА

І.В. Стрельченко, студент групи ЗМ6

С.М. Кушніренко, студент групи ЗМ6

А.В. Юрескул, студент групи М6

О.А. Горбенко, кандидат технічних наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет

В статті розглянуто класифікацію способів сушіння зерна, визначено переваги та недоліки кожного. Найбільшого поширення набув спосіб сушіння зерна з конвективним підведенням теплоти до оброблюваного зерна. Для зерносушарок з відносно невеликою пропускною здатністю переважно використовують контактний спосіб підведення теплоти, з обдуванням шару оброблюваного зерна повітряним потоком для видалення парів вологи.

Ключові слова: зерносушарка, контактна сушка, конвективна сушка, сушильний агент, сублімаційна сушка, теплоносій.

Теплова обробка сировини є одним з основних видів впливів в сегменті світового аграрного виробництва - доля цих процесів в загальносвітовому об'ємі споживання енергетичних ресурсів перевищує 40%. Практично всі сільськогосподарські матеріали в процесі їх виробництва та переробки піддаються термічній обробці. Одним з найбільш необхідних і енергоємних видів теплового впливу на зерно в аграрному виробництві є його післязбиральна сушка. В результаті цього виду теплового впливу зернові продукти значно покращують свою якість, підвищується їх стійкість при зберіганні або тимчасовій консервації.

Сушка зерна це не тільки теплофізичний, але і технологічний процес, мета якого - отримати продукт з оптимальними вихідними параметрами. Цією метою і керуються при виборі способу сушіння, конструкції сушильної установки і режиму її роботи. При цьому властивості зернового матеріалу, конструкцію зерносушарки, режим її роботи необхідно розглядати в нерозривному зв'язку один з одним. Вищевказані положення призвели до поширення різних способів сушіння зерна (рис. 1).

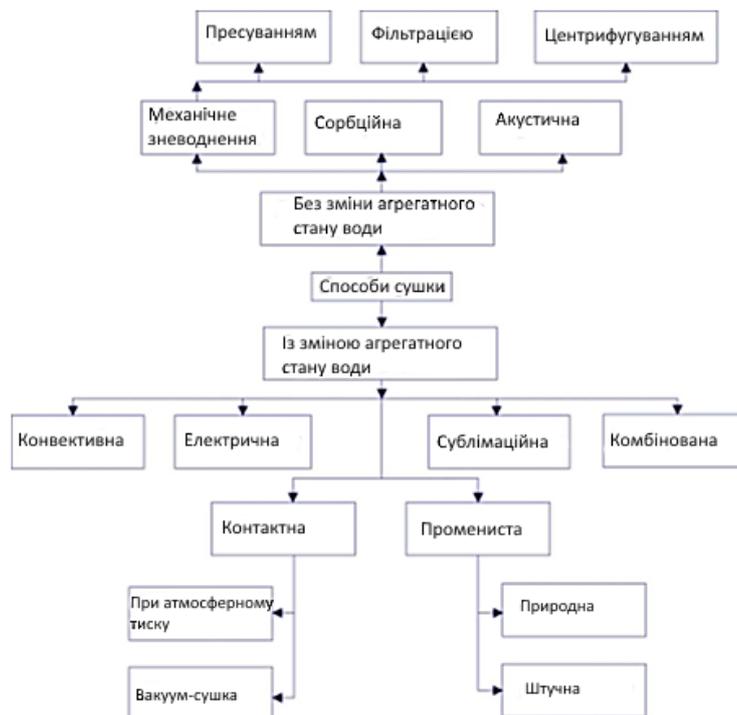


Рис. 1. Класифікація способів сушіння

Розділити ці способи можна за двома основними принципами: видалення вологи з зерна без зміни її агрегатного стану, тобто у вигляді рідини; видалення вологи з зерна зі зміною її агрегатного стану, тобто шляхом перетворення її у пару.

Перший принцип зневоднення можна здійснити механічним (фільтрація, пресування, центрифугування) або сорбційним способами за рахунок прямого контакту вологого матеріалу з більш гігроскопічними речовинами (силікагелем, тирсою, сухим зерном і ін.) меншої вологості.

Сорбційний спосіб зазвичай використовують для зниження вологості зерна, для якого тепловий вплив може призвести до втрати якості. Вологе зерно при цьому способі сушіння змішують з вологопоглиначем і витримують протягом певного часу. Вид вологопоглинаючого матеріалу вибирають так, щоб згодом його можна було легко відокремити від висушеного зерна. Цей же спосіб сушіння використовують і при змішуванні вологого зерна з більш сухим зерном тієї ж культури. При цьому частина вологи переходить від більш вологого зерна до менш вологому і вологість всієї зернової маси вирівнюється.

При акустичному сушінні волога виділяється з оброблюваного зерна під впливом ультразвукових хвиль. Сушка протікає без підвищення температури зернового матеріалу, що висушується, що особливо цінно для забезпечення збереження вихідних біологічних властивостей зерна.

Механічне зневоднення вимагає менших витрат енергії, ніж теплова сушка. Недоліком механічного способу зневоднення є його обмежена придатність.

Залежно від того, як здійснюється передача теплоти до об'єкту сушки, виділяють наступні основні види сушіння: конвективний, контактний (кондуктивний), променистий (радіаційний), електричний (струмами високої частоти), молекулярний (сублімацією). Крім того, зараз все більшого поширення набувають високопродуктивні і економічні

комбіновані способи сушіння матеріалів: конвективно-променистий, променисто високочастотний, сублімаційно-променистий і інші.

Конвективний спосіб широко використовують для сушки зерна. Теплова енергія, необхідна для нагрівання і випаровування з зерна вологи, передається від агента сушіння (нагрітого повітря або його суміші з топковими газами). Агент сушіння при цьому способі теплопідводу не тільки передає теплоту оброблюваного зерна, але також поглинає і забирає випарувану з нього вологу, є і теплоносієм і вологопоглиначем, що обумовлює суворе дотримання його вхідних параметрів (вологість, температура і т.п.). Оброблюване зерно може рухатись прямо (прямотечія), мати протилежний напрямок (протитечія) або бути перпендикулярним йому (перехресний струм). Вибір напрямку руху агента сушіння залежить від властивостей висушування зерна, а також від конструктивних особливостей конструктивного виконання сушильної камери пристрою для теплової обробки.

Останнім часом повсюдно впроваджується ефективний вид теплового впливу на зерно - рециркуляційно-ізотермічний. При цьому застосовують попередній нагрів сирого зерна, яке надходить. При цьому виді теплової сушки зерна істотно знижується кількість циклів рециркуляції, що в свою чергу призводить до мінімізації витрат енергії на транспортування оброблюваного зернового матеріалу.

Контактним або кондуктивним, називають спосіб сушіння, при якому висушуване зерно (об'єкт сушіння) при контакті з нагрітою поверхнею отримує теплоту безпосередньо від неї за допомогою теплопровідності (кондукції). Агент сушіння (повітря) при цьому способі необхідний тільки для видалення водяної пари з сушарки, будучи вологопоглиначем. Коефіцієнт теплопередачі при цьому способі набагато вище, ніж при конвективному способі теплового впливу - $170...180 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ (при конвективному способі передачі теплоти $35...115 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$). Обов'язкова умова при цьому способі сушіння - хороший контакт зерна з гріючою

поверхнею сушарки. Основний недолік контактного способу сушіння зерна – нерівномірний нагрів оброблюваного матеріалу: шар висушеного зерна, що стикається з нагрітою поверхнею, перегрівається, в той час як шари, віддалені від гріючої поверхні, слабо нагріваються і повільніше просушуються. Тому для поліпшення якості контактної сушки необхідно організувати постійне перемішування зернового шару, а товщина зернового шару не повинна перевищувати максимальний розмір окремої зернівки оброблюваної культури.

Характерною особливістю променистого (радіаційного) способу сушіння є те, що теплоту до оброблюваного зерна підводять у вигляді променистої енергії. Така сушка може бути природною (при впливі сонячних променів) і штучною (при впливі інфрачервоними променями, здійснюваними спіральними нагрівальними елементами (ТЕНами) і керамічними нагрівачами).

Природна (сонячна) сушка зерна не втратила свого значення при необхідності знизити вологість у невеликих партій насіння. Під час повітряно-сонячної теплової обробки випаровування вологи відбувається лише через зовнішню поверхню насипу зернової маси. Чим тонше товщина шару зерна, що піддається впливу сонячних променів, тим інтенсивніше воно втрачає вологу. Однак в цьому випадку необхідна велика площа для розміщення зерна. Рекомендують наступну товщину насипу зернового матеріалу: для зернових культур - 0,1 ... 0,2 м, для зернобобових - 0,1 ... 0,15 м, для дрібнонасінних - 0,04 ... 0,05 м. Зерно при цьому нагрівається до температури 25 ... 40 ° С, а іноді і більше. Недоліками сонячної сушки є повна залежність процесу від погодних умов і відсутність засобів механізації даного виду робіт.

Штучно променистий спосіб сушіння зерна реалізують під дією інфрачервоних променів (ІЧП) - невидимих теплових променів з довжиною хвилі 0,74 ... 2000 мкм. Швидкість сушіння ІЧХ збільшується в порівнянні з конвективною непропорційно збільшенню теплового

потоків. Це можна пояснити тим, що швидкість сушіння залежить в основному від швидкості переміщення вологи в зерні, а не від швидкості підведення теплової енергії. З метою збереження якості висушеного продукту, застосування потужних потоків ІЧХ не рекомендується. Наявність ряду переваг (простота обладнання, гнучкість управління та ін.), не дозволило сушці ІЧХ в чистому вигляді отримати широкого поширення внаслідок високої нерівномірності нагріву зерна, низького коефіцієнта корисної дії генераторів інфрачервоного випромінювання і великої витрати електричної енергії на випаровування вологи (більше 3 кВт × год на 1 кг).

Сублімаційну або молекулярну сушку здійснюють в умовах глибокого вакууму (13,3 ... 133,3 Па). Спочатку енергія, необхідна для випаровування вологи, віднімається від зерна, що обробляється, внаслідок чого температура його поверхні значно знижується, а решта вологи в зерні кристалізується і виходить на поверхню у вигляді льоду. Надалі при підведенні теплоти ззовні лід випаровується, тобто перетворюється на пару, міняючи рідкий агрегатний стан. Молекулярна структура зерна при цьому не змінюється. Сушку сублімацією (молекулярну сушку) застосовують в тих випадках, коли потрібно зберегти молекулярну структуру і початкові властивості матеріалу.

При електричному сушінні струмами високої і надвисокої частот висушене зерно, що є діелектриком, поміщають в електричне поле між двома пластинами (обкладинками конденсаторів). Молекули зернівки поляризуються і вводяться в коливальний рух, що супроводжується тертям частинок з відповідним їм нагрівом і випаровуванням вологи. Вологу, що виділилася в результаті зазначених процесів, видаляють разом з повітрям, що її поглинуло. Так як нагрів зернівки починається в центрі, температурний градієнт збігається з градієнтом вологості, посилюючи міграцію вологи до периферії. Швидкість нагріву зерна при цьому дуже велика.

Сушка зерна в полі високих і надвисоких частот незважаючи на ряд переваг (швидке нагрівання матеріалу, дуже висока інтенсивність сушки), не знаходить широкого застосування внаслідок великої витрати електричної енергії (3,5...5 кВт × год на 1 кг випаруваної вологи), а також у зв'язку зі складністю устаткування і обслуговування установок з високою напругою.

В даний час незаперечні переваги застосування різних комбінованих способів сушіння: конвективного в поєднанні з контактним, променистим або електричним; променистого - з високочастотним, сублімаційного - з променистим та ін. Використання комбінованих способів дозволяє значно пришвидшити сушку, знизити витрати енергії, домогтися повної автоматизації управління процесом, зберегти цінні якості висушеного зерна.

Отже, найбільшого поширення набув спосіб сушіння зерна з конвективним підведенням теплоти до оброблюваного зерна. В якості агента сушіння в основному використовують суміш підігрітого повітря з топковими газами, що негативно впливає на зерно - воно забруднюється продуктами горіння. А для зерносушарок з відносно невеликою пропускною здатністю переважно використовують контактний спосіб підведення теплоти, з обдуванням шару оброблюваного зерна повітряним потоком для видалення парів вологи. При реалізації цього способу сушіння необхідно організувати постійне перемішування зернового шару.

Література

1. Подпратов Г. І. Зберігання і переробка продукція рослинництва / Г. І. Подпратов, Л. Ф. Скалецька, А. М. Сеньков, В. С. Хилевич. – К. : Мета, 2002. – 495 с.
2. Соколов А. Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна / А. Я. Соколов. – М. : Колос, 1975. – 67 с.

3. Халанский В. М. Сельскохозяйственные машины / В. М. Халанский, И. В. Горбачев. – М. : Колос, 2003. – 624 с.

Анализ способов сушки зерна. І.В. Стрельченко, С.М. Кушніренко, О.А. Горбенко

В статье рассмотрена классификация способов сушки зерна, определены преимущества и недостатки каждого. Наибольшее распространение получил способ сушки зерна с конвективным подводом теплоты к обрабатываемого зерна. Для зерносушилок с относительно небольшой пропускной способностью преимущественно используют контактный способ подвода теплоты, с обдувом слоя обрабатываемого зерна воздушным потоком для удаления паров влаги.

Analysis of the grain drying methods. I.V. Strelchenko, S.M. Kushnirenko, O.A. Gorbenko

In the article considered the classification of grain drying methods, identified the advantages and disadvantages of each. The most prevalent method of drying grain is convective with supply heat to the treated grain. For dryers with a relatively small bandwidth mostly used contact method supplying heat from the treated grain layer blowing air flow to remove water vapor.

УДК 664.71

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА

ЯЧМІННОГО БОРОШНА

І.Г. Тарасов, студент групи ЗМ6

Ю.П. Поколюк, студент групи М6

О.А. Горбенко, кандидат технічних наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет

В статті розглянуто технологічний процес виробництва ячмінного борошна та обладнання для його здійснення. Застосування технологічних прийомів, таких як гідротермічна обробка (ГТО), що включає інтенсивне зволоження, відволожування і сушку зерна ячменю, підвищує ефективність його луцення і вихід ядра, підвищує харчову цінність крупи та борошна.

Ключові слова: ячмінне борошно, гідротермічна обробка, луцення, висівки, луцильно-шліфувальні машини.

Ячмінь є цінною сільськогосподарською культурою, широко поширеною в нашій країні завдяки скоростиглості і невимогливості до кліматичних і ґрунтових умов. Продукти переробки зерна ячменю, в тому числі і борошно, відрізняються низьким вмістом жиру, мають збалансований за амінокислотним складом білковий комплекс, багаті розчинні і нерозчинними харчовими волокнами, макро- і мікроелементами і вітамінами.

Аналіз існуючих технологій переробки ячменю показує, що використовувані способи отримання крупи і борошна з даного злаку відрізняються недостатньою ефективністю і не дозволяють в повній мірі використовувати ресурси зерна.

Застосування технологічних прийомів, таких як гідротермічна обробка (ГТО), що включає інтенсивне зволоження, відволожування і сушку зерна ячменю, підвищує ефективність його луцення і вихід ядра, підвищує харчову цінність крупи, борошна і продуктів на її основі за рахунок збереження периферійних шарів ядра, багатих біологічно активними речовинами.

У зв'язку з цим розробка нової технології ячмінного борошна і вивчення перспектив її використання у виробництві хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів з метою розширення їх асортименту є важливою і актуальною.

Проведені дослідження дозволили оцінити можливість промислового виробництва ячмінного борошна з використанням інтенсивного зволоження зерна в процесі гідротермічної обробки. На рис.1 представлена принципова схема, яка відображає основні результати дисертаційної роботи щодо технологічних режимів підготовки зерна до лущення і подальшого подрібнення.

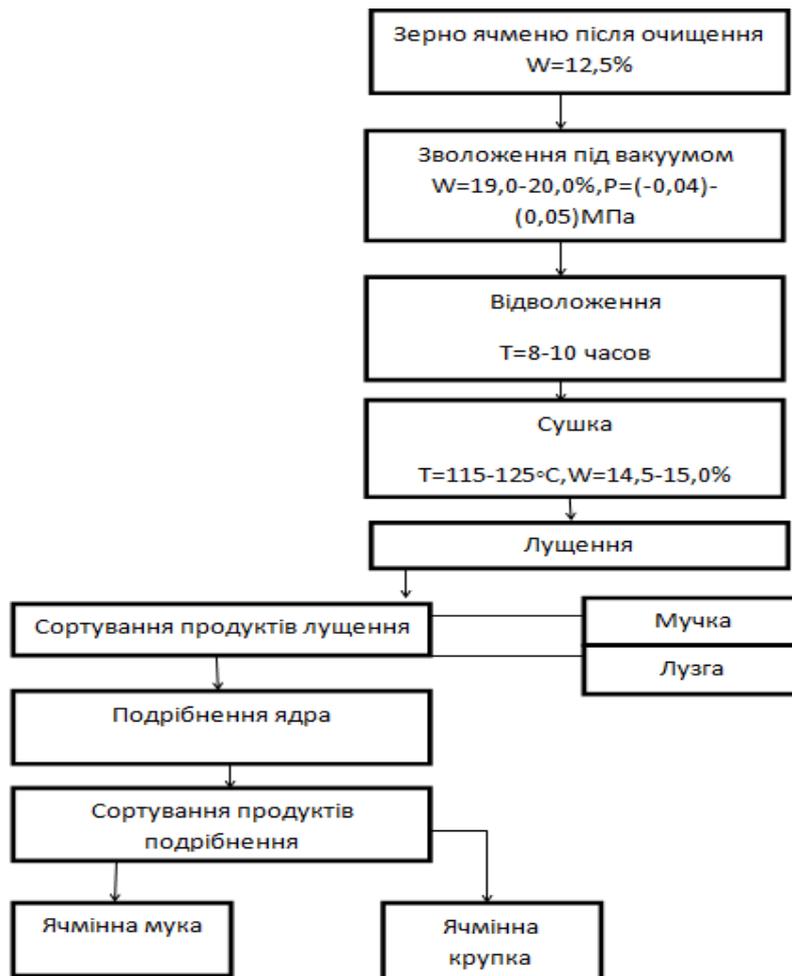


Рис. 1. Принципова технологічна схема виробництва ячмінного борошна

Встановлено, що оптимальними умовами процесу ГТО з зволоженням зерна ячменю під вакуумом є: зволоження зерна до вологості (19,0-20,0)% при ступені розрідження повітря в установці (-0,04)-(-0,05) МПа, відволожування протягом 8-10 годин, сушка зерна до вологості (14,5-15,0)% при температурі агента сушіння 115-125 °С. При даних режимах спостерігається найбільший вихід лущення ядра в поєднанні з високою ефективністю лущення зерна.

Далі ячмінь послідовно проходить очищення в сепараторі 6 (видаляються великі, дрібні і легкі домішки), каменевідбірнику 7 (видаляються мінеральні домішки) і трієрі-куколевідбірник 8 (видаляються короткі домішки).

Очищене зерно направляється на гідротермічну обробку, де проходить операції зволоження в розробленому пристрої 9 до вологості (19-20)% при ступені розрідження повітря (-0,04) - (-0,05) МПа, відволоження в бункері 2.2 протягом 8- 10 годин і сушку при температурі повітря в сушарці 10, рівній 115-125 ° С, до вологості (14,5-15,0)%. Підготовлене зерно ячменю проходить операції луцення і шліфування в оббивальній машині 11 і луцильно-шліфувальних машинах 13.1 і 13.2. Перед кожною установкою ударно-стираючого і подрібнюючої дії встановлені магнітні сепаратори 4.2-4.7. Побічні продукти - лузга і мучка виділяються в аспіраторах 12.1 і 12.3.

Отримане лущене ядро направляють на сортування в першу і другу секції розсіву 14, де сходом з верхніх сит $\varnothing 3,0$ отримують велику фракцію для вироблення перлової крупи, сходом з сит $\varnothing 2,5$ - середню фракцію для вироблення борошна, сход з нижніх сит № 08 направляють на отримання ячної крупи, проходом через дане сито виділяють мучку. Велика фракція, пройшовши шліфування та полірування в машині 13.3, видалення мучки в аспіратор 12.2 і контрольну очищення від металоманітних домішок в сепараторі 4.8 надходить в бункер для перлової крупи 2.5. Середня фракція надходить в першу секцію вальцьового верстата 15. Продукти подрібнення направляються на сортування в третю секцію розсівання 14, де сходом з верхніх сит № 056 виділяють висівки, сходом з нижніх сит 41/43 - крупку, а проходом - ячмінну муку, яка, пройшовши очищення від металоманітних домішок, надходить в бункер 2.3. Дрібна фракція ядра послідовно проходить операції дроблення в другій секції вальцьового верстата 15, сортування в четвертій секції розсіву 14, де схід з верхніх сит $\varnothing 2,5$ повертають на дроблення, проходом через нижнє сито № 08 виділяють

мучку, сход з даного сита направляють на очищення від легких домішок в аспіратор 12.4, очистку від металоманітних домішок в сепараторі 16.2 і направляють в бункер для ячної крупи. Далі готова продукція надходить на вибой, де фасується в поліпропіленові мішки, картонні коробки і паперові мішки.

Література

1. Лопатинский С. Н. Крупы повышенной питательной ценности / С. Н. Лопатинский. – М: Колос, 1978. – с.19.
2. Мельников Е. М. Исследование гидротермической обработки зерна / Е. М. Мельников, М. Е. Гинзбург, М. С. Шабаков, В. Н. Старовойтов. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1987.– с.192.
3. Мельников Е. М. Обогащение промежуточных продуктов на крупозаводах / Е. М. Мельников. – М.: Колос. 1974. – с.162.
4. Тодаренко Н. С. Применение ячменной муки в производстве мучных кондитерских изделий / Н. С. Тодаренко, Е. А. Щербакова, Л. Н. Евдохова / Сборник научных работ студентов Республики Беларусь "НИРС 2011". - Минск, 2012. - С. 268-269.

Анализ технологического процесса производства ячменной муки.

І.Г. Тарасов, Ю.П. Поколюк, О.А. Горбенко

В статье рассмотрены технологический процесс производства ячменной муки и оборудования для его осуществления. Применение технологических приемов, таких как гидротермическая обработка (ГТО), включающая интенсивное увлажнение, отволаживание и сушку зерна ячменя, повышает эффективность его шелушение и выход ядра, повышает пищевую ценность крупы и муки.

Analysis of the technological process barley flour production. I.G. Tarasov, Y.P. Pokolyuk, O.A. Gorbenko

In the article considered the production process of barley flour and equipment for its implementation. Application processing methods such as hydrothermal processing, which includes intense hydration, hydratizing and drying barley, increases the efficiency of its shelling and out of the nucleus and increases the nutritional value of cereals and flour.

УДК 621.37

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ОЗОНАТОРІВ ДЛЯ ОЗОНУВАННЯ ЯЄЦЬ В ПЕРІОД ІНКУБАЦІЇ

Д.О. Захаров, асистент

В.І. Царик, магістрант

Миколаївський національний аграрний університет

В даній роботі виконано аналіз сучасного обладнання для електрофізичної обробки яєць в період інкубації. Запропоновано конфігурацію електродів розрядної камери озонатора для забезпечення максимальної продуктивності по озону.

Ключові слова: озонатор, електрофізична обробка, інкубація яєць.

В останні роки активно впроваджуються різні електрофізичні методи дезінфекції повітряного середовища, яєць і стимуляції ембріонального розвитку птахів. До них можна віднести ультрафіолетове опромінення, аероіонізацію, озонування та електрофільтрацію повітря.

Аналіз використання різних систем повітряних фільтрів, що працюють на притоці, витяжці вентиляційних систем, озонування повітряного середовища в інкубаційному шафі, показав, що фільтрація і озонування повітря необхідні і дають позитивні результати. Одним з

перспективних електрофізичних методів є озонування повітряного середовища.

Під час проектування камери озонатора слід виконати розрахунок параметрів електричного поля в її об'ємі. Так як визначення розподілу напруженості електричного поля у камері озонатора потрібно розв'язати проблему теорії електричного поля. Її можна сформулювати як знаходження функції потенціалу, що задовольняє еліптичному рівнянню в часткових похідних другого порядку (1). Для вирішення поставленого завдання застосовано чисельний метод верхньої релаксації. Реалізоване на основі цього методу програмне забезпечення успішно використовувалося для аналізу роботи різних вузлів високовольтного устаткування [1]. В декартовій системі координат

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) = 0, \quad (1)$$

де σ - питома електропровідність середовища; $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$ - діелектрична проникність; x, y - декартові координати.

За відомим розподілом потенціалу вектор напруженості електричного поля E та її модуль визначаються з використанням рівнянь (2), (3).

$$\vec{E} = -grad\varphi = -\left(\vec{r}_i \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right), \quad (2)$$

$$|E| = \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (3)$$

Трикутниками на схемі (рис. 1) показано розбиття розрахункової області кінцево-елементної сіткою.

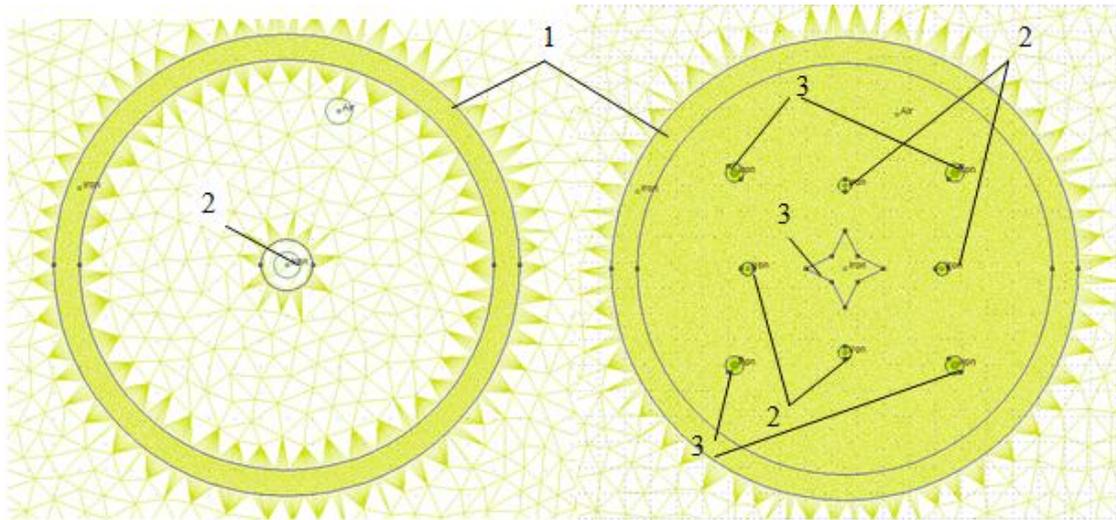


Рис. 1. Спрощена розрахункова схема камери озонатора:

1 – металевий циліндр (некородуючий електрод); 2 – система некородуючих допоміжних електродів; 3 – коронуючий електрод

Для однозначного вирішення проблеми були задані граничні умови Діріхле з нульовим значенням потенціалу на всіх зовнішніх межах розрахункової області (рис. 1). Електричні потенціали електродів камери озонатора у відносних одиницях мали значення одиниці (на електродах 3 на рис. 1) і нуля (на електродах 1 і 2 на рис. 1).

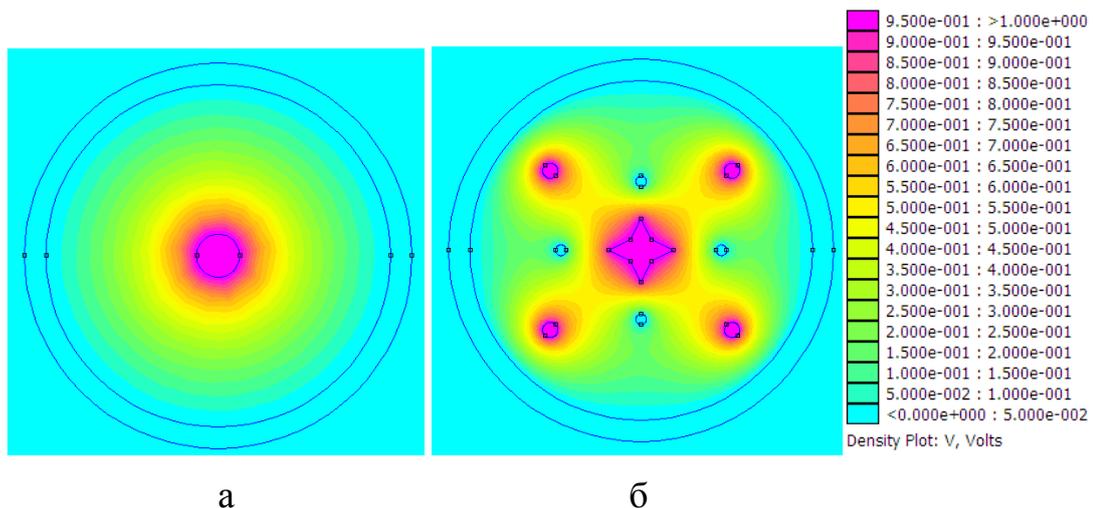


Рис. 3. Розподіл електричного потенціалу в об'ємі камери озонатора:

а – провід по центру циліндра; б – система електродів в циліндрі

Результати моделювання просторового розподілу електричного потенціалу в об'ємі розрядної камери між коронуючим і некоронуючим електродами, отримані за допомогою метода верхньої релаксації співпадають з результатами моделювання, отриманими з використанням об'єктно-орієнтованого пакету FEMM4.2 і наведені на рис. 1. Кінцева елементна сітка містила 13017 вузлів та складалася з 25683 елементів.

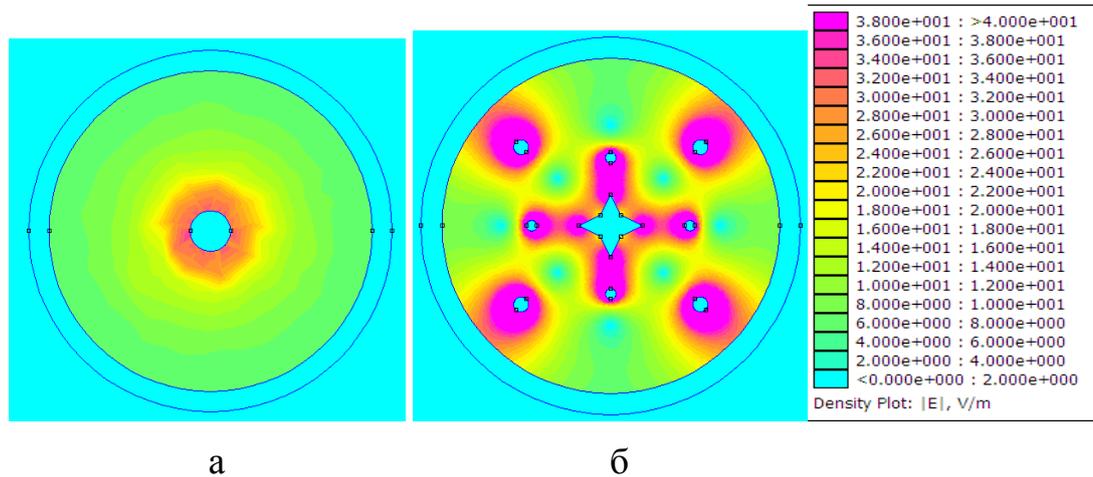


Рис. 4. Розподіл напруженості електричного поля в об'ємі камери озонотара:

а – провід по центру циліндра; б – система електродів в циліндрі

Запропонована конструкція озонатора дозволяє інтегрувати установку в технологічний процес без суттєвих реконструкцій та з мінімальними капіталовкладеннями. З математичного моделювання розподілу напруженості електричного поля видно, що більш ефективним є застосування системи електродів в циліндрі з додатковими електродами які зумовлюють значне збільшення об'єму повітря з високою неоднорідністю розподілу характеристик електричного поля.

Література

1. Щерба А.А., Дубовенко К.В. Высоковольтные электроразрядные компактные системы/ – К.: Наукова думка, 2008. – 264 с. 448.

2. Инкубация яиц сельскохозяйственной птицы: Методические рекомендации. Под общей редакцией В.И. Фисинина. — Сергиев Посад: ВНИТИП, 2008. — 119 с.
3. Корса-Вавилова Е.В., Пуресев Н.И., Ткаченко С.Н. Эффективность применения озоновых инновационных технологий на предприятиях агропромышленного комплекса / Озон и другие экологически чистые окислители: наука и технологии: Сб. материалов 31-го Всероссийского семинара. — М.: МАК Пресс, 2010. — С. 46–63.
4. Кривопишин И.П. Озон в промышленном птицеводстве. — Сергиев Посад, 1997. — 32 с.
5. Дубовенко К.В. Знезараження зернової продукції імпульсним коронним розрядом / Дубовенко К.В., Захаров Д.О. // Вісник національного технічного університету «ХПІ» №61 (967). – Харків : НТУ «ХПІ» , 2012. – С. 139 – 149.

Особенности конструкции озонаторов для озонирования яиц в период инкубации. Д.А. Захаров, В.И. Царик

В данной работе выполнен анализ современного оборудования для электрофизической обработки яиц в период инкубации. Предложено конфигурацию электродов разрядной камеры озонатора для обеспечения максимальной производительности по озону.

Features designs for ozone ozonation eggs during incubation. D.A. Zakharov, V.I. Tsarik

In this paper, the analysis of modern equipment for electrophysical handling of eggs during incubation. An electrode configuration of the discharge chamber Ozonator for maximum performance of the Ozone.

УДК 621. 436. 038

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ
СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ**

М.Ю. Шатохин, ассистент

В.А. Водолага, студент групи М5/1маг

Е.О. Бузовера, студент групи ЗМ6

О.С. Гайдучик, студент групи ЗМ6

Николаевский национальный аграрный университет

В статье предлагается применение устройства и системы автоматического регулирования для контроля водосодержания. Это позволит обезопасить двигатель от возможных нарушений качества приготовляемой эмульсии и обеспечит оптимальное значение водосодержания в зависимости от режима работы двигателя.

Ключевые слова: автоматическое регулирование, водотопливная эмульсия, дизели, топливная аппаратура.

Постановка задачи исследований. Одним из сдерживающих факторов широкого применения водотопливных эмульсий (ВТЭ) является возможность выпадения глобул воды и попадания их в зазоры прецизионных элементов топливной аппаратуры (ТА) при нарушении водосодержания в эмульсии в эксплуатационных условиях. И это может приводить энергетические установки к непредсказуемым последствиям.

Результаты исследований. Последние десятилетия применением водотопливных эмульсий (ВТЭ) в рядовой эксплуатации активно занимаются отдельные авторы и коллективы [1-6]. Разработаны и созданы разнообразные по конструкции устройства и модули для приготовления водотопливных эмульсий [4, 5, 6]. Но вот в 2005 г. фирма МАН выпустила 5 среднеоборотных дизелей, оборудованных автоматизированными транзитными модулями для приготовления водотопливной эмульсии.

Однако, сдерживающим фактором в создании и внедрении подобных конструкций в эксплуатацию по-прежнему является отсутствие устройств, обеспечивающих поддержание заданного водосодержания в требуемых пределах или защиту двигателей в экстренных случаях. Как правило, в системах приготовления ВТЭ предусматривается ручное или автоматическое отключение подачи воды при пуско-остановочных операциях или в процессе эксплуатации, но по-прежнему отсутствует постоянный контроль водосодержания в эмульсии, что делает небезопасной эксплуатацию дизелей, особенно в условиях неустановившихся режимов работы.

Вместе с тем, возможно использование принципа контроля объемного водосодержания в ВТЭ и управления величиной водосодержания, аналогичного работе полупроводникового реле уровня (сигнализатора) типа ПРУ-5.

Схема установки сигнализатора водосодержания на двигателе представлена на рис. 1. Здесь на колонке приготовленной эмульсии 8 непосредственно установлен первичный измеритель водосодержания 14 с использованием принципа сообщающихся сосудов, который контролирует значение плотности ВТЭ благодаря перемещению металлизированного шарика в зависимости от величины плотности проходящей через колонку 8 эмульсии. При этом шарик находится между полюсами катушек индуктивности и его перемещение преобразуется бесконтактным способом в сигнал переменного тока с помощью катушек, включенных в мостовую измерительную схему дифференциального усилителя вторичного преобразователя с исполнительным поляризованным реле на его выходе. Именно это реле дискретно управляет клапаном подачи воды.

Работа сигнализатора водосодержания заключается в воздействии вторичного преобразователя плотности 15 на электромагнитный клапан 5, который управляет подачей воды к топливоподкачивающему насосу 6 диспергатора 7. При превышении водосодержания ВТЭ происходит

отсечка подачи воды и тем самым дискретно поддерживается назначенное значение водосодержания.

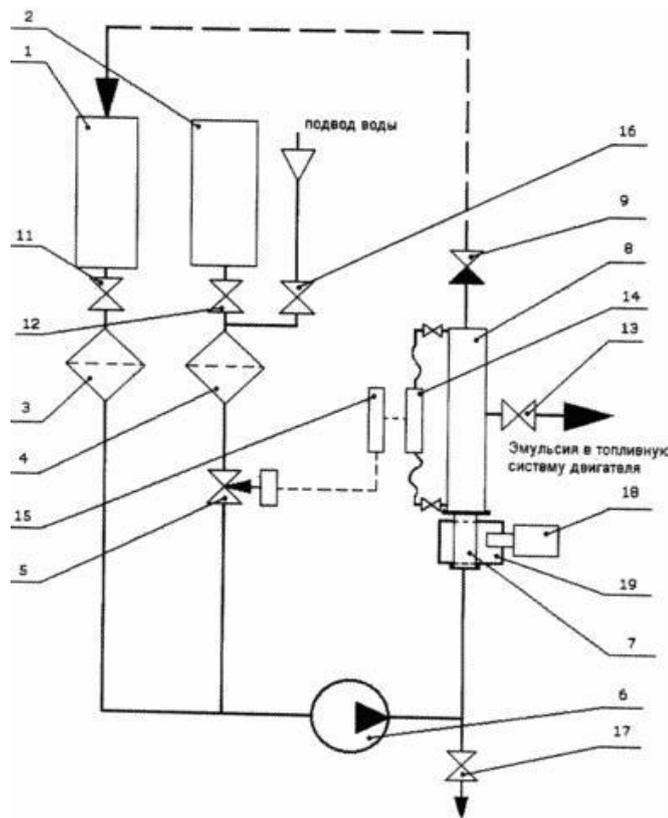


Рис. 1. Схема установки сигнализатора водосодержания на двигателе:

- 1 – емкость для топлива; 2 – емкость для воды; 3 – фильтр топлива;
- 4 – фильтр воды; 5 – электромагнитный клапан;
- 6 – топливоподкачивающий насос с электроприводом; 7 – диспергатор;
- 8 – колонка; 9 – проходной невозвратный клапан; 10, 11, 12, 13, 16 – проходные клапаны; 14 – первичный преобразователь плотности;
- 15 – вторичный преобразователь плотности; 17 – спускной клапан;
- 18 – лазер; 19 – отражатель

На базе этого прибора предлагается система автоматического регулирования водосодержания (САР) и контроля (см. рис. 2) для устройства подготовки ВТЭ, выполненного согласно патенту [6].

В качестве объекта здесь выступает модуль для приготовления водотопливной эмульсии (принципиально конструкция модуля значения не

имеет). Имеются электроуправляемый вентиль для регулирования количества поступающей воды и подвод топлива из расходной цистерны.

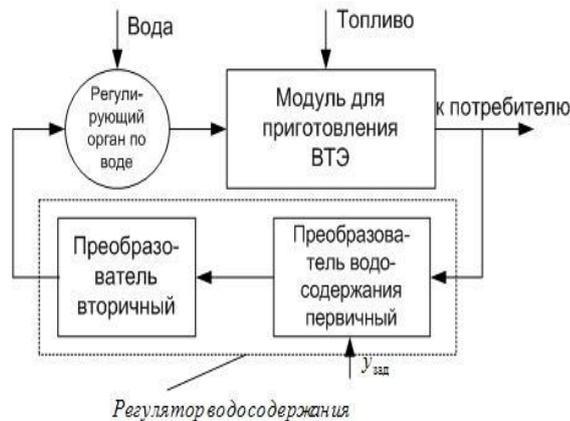


Рис. 2. Система автоматического регулирования водосодержания в устройствах для приготовления водотопливных эмульсий

Транзитный принцип включения модуля в систему питания энергетической установки безусловно является предпочтительным. Как видно из рис. 2, регулятор водосодержания позволяет подстройку системы на оптимальную зависимость водосодержания от режима работы дизеля за счет изменения коэффициента статической передачи от рейки к координате задания первичного преобразователя прибора. При необходимости обеспечить экстренную защиту двигателя достаточно перекрыть электромагнитный клапан.

Возможна установка датчика водосодержания, обеспечивающего аналоговый сигнал. Это имеет свои положительные стороны, например, возможность коррекции зависимости водосодержания эмульсии от режима работы двигателя и обеспечивать не только функции управления, но и защиты.

Выводы. Таким образом, применение предлагаемого устройства и системы автоматического регулирования для контроля водосодержания позволяет обезопасить двигатель от возможных нарушений качества приготовляемой эмульсии, более того, обеспечить оптимальное значение водосодержания в зависимости от режима работы двигателя.

Современным решением задачи является применение измерительной системы в виде аналоговых блоков, что позволит воздействовать на зависимость водосодержания в функции от режима работы дизеля, более того становится возможным компьютерное управление модулем приготовления водотопливной эмульсии.

Литература

1. Гладков О. А. Повышение эффективности использования водотопливных эмульсии в высокооборотных дизелях / О.А. Гладков, В.В. Данщиков, В. П. Закржевский // Двигателестроение, 1997. – № 1. – С. 23–28.
2. Воржев Ю. И. Применение водотопливных эмульсий / Ю.И. Воржев // Двигателестроение, 1986. – № 12. – С.30–33.
3. Лебедев О. Н. Водотопливные эмульсии / О.Н. Лебедев, В.А. Сомов, В.Д. Сисин. – Л.: изд-во Двигателестроение, 1988. – 108 с.
4. Любанский Б. П. Разработка систем подготовки водотопливных эмульсий / Б.П.Любанский // Труды ЦНИДИ «Технический уровень двигателей внутреннего сгорания», 1984. – С. 177–179.
5. Сомов В.А. О применении водотопливных эмульсий в дизелях / В.А. Сомов // Двигателестроение, 1988. – № 3. – С.11–12.
6. Горелик Г. Б. Установка для приготовления водотопливной эмульсии / Г.Б. Горелик, А.Г. Подтероб, В.И. Боярчук // Патент на изобретение № 2174864.–2001

Автоматичне регулювання вмісту води у водо-паливній емульсії.
М.Ю. Шатохін, О.С. Стасів, Е.О. Бузоверя, О.С. Гайдучик

У статті пропонується застосування пристрою і системи автоматичного регулювання для контролю вмісту води. Це дозволить убезпечити двигун від можливих порушень якості емульсії і забезпечить

оптимальне значення вмісту води в залежності від режиму роботи двигуна.

Automatic water content in the water-fuel emulsions. M.Y. Shatohin, O.S. Stasiv, E.O. Buzoverya, A.S. Hayduchyk

In the article the use of the device and the automatic control system to control the water content. This will protect the engine from possible violations quality emulsions and provide the optimum water content depending on the mode of the engine.

УДК 539.3

**ВПЛИВ КІНЕМАТИЧНОЇ ДОВЖИНИ АГРЕГАТУ
НА ЙОГО ПРОДУКТИВНІСТЬ**

О.І. Анікєєв, кандидат технічних наук, доцент

Ю.О. Сердюк, магістр

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

В статті наведено аналіз варіантів компоновальних схем агрегатів з однією, двома і більше кінематичними ланками, розглянуті елементи поворотності агрегату у випадку, коли кінематична довжина більше кінематичної ширини і кінематична довжина менше кінематичної ширини агрегату.

Ключові слова: агрегат, продуктивність, кінематична довжина, ланка технологічного комплексу, поворотність.

Від оптимального комплектування машинно-тракторного агрегату багато в чому залежить якість і вартість виконання механізованих робіт в рослинництві. Сучасна сільськогосподарська техніка, як трактори, так і

сільськогосподарські машини, за останні 10...15 років істотно зробили крок вперед. Виробники техніки намагаються найбільш повно забезпечити потреби фермерських господарств з різними площами угідь, випускається широка гама тракторів з потужністю двигуна від 20 до 507 к.с. [1].

Сучасні сільськогосподарські машини для виконання робіт з основного обробітку ґрунту, посіву, посадки сільськогосподарських культур, їх збирання проектуються для використання в енергозберігаючих технологіях, в т.ч. no-till технологіях, комбінованих та широкозахватних. Це в значній мірі дає можливість зменшити кількість проходів агрегату по полю, збільшити продуктивність агрегату, зменшити сумарну витрату палива на обробіток і збирання сільськогосподарських культур.

Продуктивність агрегату при виконанні механізованих робіт в рослинництві є функцією V_p – робочої швидкості руху агрегату, B_p – робочої ширини захвату агрегату і T_p – часу продуктивної роботи (чистий робочий час роботи агрегату).

$$W = f(V_p, B_p, T_p).$$

Робоча швидкість V_p руху агрегату залежить від інтервалу допустимих робочих швидкостей, визначальне значення яких залежить від конструктивних особливостей робочих органів сільськогосподарських машин, конструктивних особливостей коробки переміни передач трактора.

Робоча ширина захвату B_p агрегату визначається виходячи з конструктивної ширини захвату агрегату.

Перераховані вище складові продуктивності агрегату це очевидні параметри.

Що стосується чистого робочого часу роботи агрегату, то його величина залежить від складових його функції L_p – довжини шляху на робочому ході, E_p – ширини поворотної смуги агрегату, коефіцієнта робочих ходів φ .

$$T_p = f(L_p, E_p, \varphi).$$

У свою чергу, ширина поворотної смуги є функцією цілком пов'язаною з кінематичною довжиною агрегату, обраного способу його руху, виду поворотів.

$$E = f(e, d_k, \rho_y).$$

Таким чином, величина ширини поворотної смуги є функцією довжини в'їзду (виїзду) e , кінематичної ширини захвату агрегату d_k і радіуса його повороту ρ_y .

Довжина поворотної смуги необхідна для того щоб не порушити якість виконання сільськогосподарської операції, найчастіше необхідно до початку повороту продовжувати прямолінійний рух агрегату, або, як кажуть, витягнути агрегат на поворотній смузі так, щоб крайні останні робочі органи не відхилялися від первісного напрямку більше, ніж це допустимо.

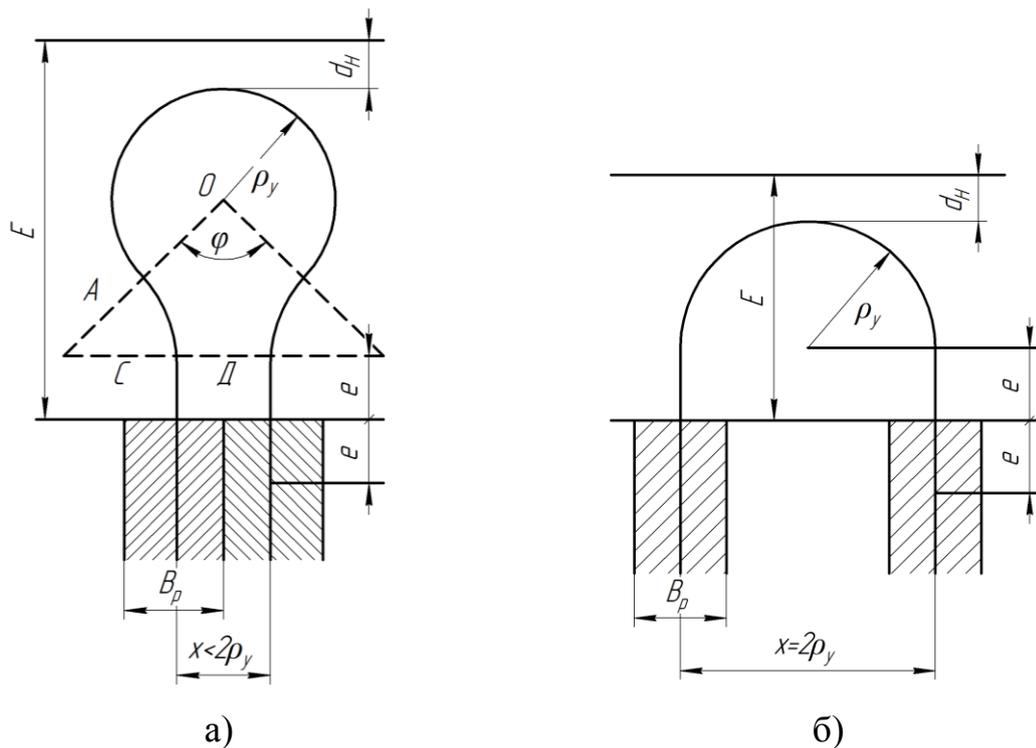


Рис. 1. Схеми поворотів агрегату:

а – з відкритою петлею (грушоподібний), б – по колу

Дослідження [2] показали, що для агрегатів з великою кінематичною довжиною поворот агрегату без попереднього виїзду на поворотній смузі

неприпустимий. Але і в цьому випадку немає потреби витягувати агрегат на всю кінематичну довжину l_k . Зазвичай достатньо прийняти довжину в'їзду (виїзду) $e = (0,25...0,75) l_k$.

Радіус повороту агрегату залежить від конструктивної ширини його захвату і кількості кінематичних ланок.

Коли говорять про траєкторії агрегату, поворотах агрегату, радіусі повороту і т.д., мають на увазі відповідні поняття і величини, що відносяться до центру агрегату [3].

Найбільш істотною характеристикою агрегату, що визначає його кінематику, є кінематична довжина агрегату l_k – проекція відстані між центром агрегату і лінією розташування найбільш віддаленого робочого органу при прямолінійному русі.

У причіпних машин характерними для кінематики агрегату є:

– центр причіпної ланки (ведена точка), що представляє собою підставу перпендикуляра, опущеного з точки причепа (шарніра) даної ланки (ведуча точка) на горизонтальну проекцію осі коліс веденої ланки (причіпної машини);

– кількість кінематичних ланок агрегату, тобто кількість послідовно включених в агрегат елементарних кінематичних ланок (двоколісних систем). Якщо будь-яка з ланок причепа не представляє собою елементарної двоколісної системи, такої причіп називають «кінематичне неправильним».

Точка, щодо якої в даний момент відбувається поворот центру агрегату, називається центром повороту агрегату, а відстань між центром агрегату і центром повороту – радіусом повороту агрегату ρ .

За останній час на ринку сільськогосподарської техніки України представлено досить великий спектр посівних систем [4] з досить великою різноманітністю компоновальних схем і послідовністю розміщення власне сівалки, бункерів для насіння і добрив, а також ємностей для гербіцидів. Послідовності розміщення в агрегаті кінематичних ланок такі:

1: трактор + сівалка, на рамі якої розміщений бункер для насіння і добрив (рис. 1);



Рис. 1. Сівалка прямого посіву SD Fastliner SD

2: трактор + бункер для насіння і добрив + сівалка (рис. 2);



Рис. 2. Пневматична зернова сівалка нульового циклу «Sunflower 9230» (ширина захвату сівалки 9,14; 12,2 м; кінематична довжина агрегату 14 м)

Розглядаючи три компоувальні схеми посівних агрегатів можна констатувати наступне – найбільш краща компоновка, з точки зору їх кінематичної довжини показана в першому варіанті, тому що агрегат складається з одної кінематичної ланки. Другий і третій варіанти вже включають дві і більше кінематичних ланки в агрегаті, більше того, у другому варіанті сівалка розташована другою кінематичною ланкою, що значно збільшує кінематичну довжину агрегату.

3: трактор + сівалка + бункер для насіння і добрив + ємність для ґрунтових гербіцидів (рис. 3, 4).



Рис. 3. Зернова пневматична сівалка-культиватор «Maxim II» (ширина захвату сівалки 8,84; 10,36; 11,89; 14,94; 16,77; 18,29 м, кінематична довжина агрегату 12 м)

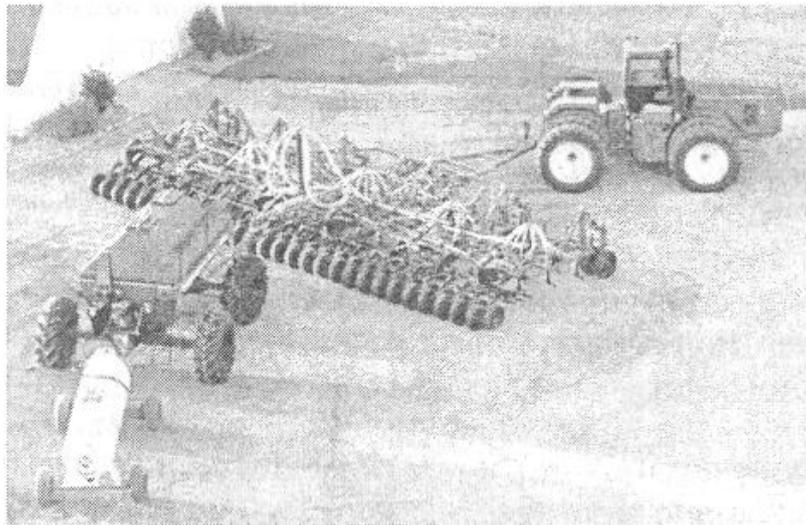


Рис. 4. Посівна система «Concord» фірми «Amiti Technology»

Запропоновані вище компоновальні схеми посівних агрегатів мають різні параметри поворотності агрегату. У тому випадку, коли співвідношення кінематичної довжини і кінематичної ширини $l_k > b_k$ агрегату, при човниковому способі його руху, використовують спосіб повороту з відкритою петлею (грушоподібний). Агрегат, особливо з колісним трактором, не може миттєво перейти від прямолінійного руху на

поворот дузі кола з мінімально допустимим радіусом або з будь-яким іншим певним радіусом, так як потрібен час, протягом якого здійснюється поворот направляючих коліс. Протягом цього часу агрегат продовжує рухатися вперед по траєкторії зі змінним радіусом кривизни, Цей рух називають «входом в поворот» (рис. 1, а) При переході ж з повороту по дузі кола радіуса на прямолінійний рух має місце ділянка зі змінним радіусом кривизни званий «виходом з повороту». Рух по дузі кола з радіусом («сталій поворот») і прямолінійний рух мають місце лише на частині повороту, в більшості випадків складової менше половини всієї траєкторії агрегату на повороті.

В іншому випадку, коли співвідношення кінематичної довжини і кінематичної ширини $l_k < b_k$ агрегату, при човниковому способі його руху, використовують спосіб повороту по колу (рис. 1, б).

Довжина холостого ходу агрегату на поворотній смузі для наведених варіантів агрегатів буде значно відрізнятися, і, отже, час холостого ходу буде значно відрізнятися один від одного.

Можна зробити висновок про те, що компонуючи схеми агрегатів з двома і більше кінематичними ланками вимагає подальших досліджень по вибору оптимальних видів поворотів, з метою підвищення їх продуктивності.

Література

1. Погорілий В. Перспективний тракторний парк України для різних технологій / В. Погорілий // Техніка АПК, 2005. — №12. — С. 11–12.
2. Иофинов С.А. Технология производства тракторных работ / С.А. Иофинов. — М.: Сельхозгиз, 1959.
3. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно–тракторного парка / С.А. Йофинов. — М.: «Колос», 1974. — 480с.

4. Кравчук В.І., Грицишина М.І., Коваль С.М. Сучасні тенденції розвитку конструкції сільськогосподарської техніки / В.І. Кравчук, М.І. Грицишина, С.М. Коваль // - К.: Аграрна наука, 2004. — 396 с.

Влияние кинематической длины агрегата на его производительность.
А.И. Аникеев, Ю.А. Сердюк

Проведён анализ вариантов компоновочных схем агрегатов с одной, двумя и более кинематическими звеньями, рассмотрены элементы поворотливости агрегата в случае, когда кинематическая длина больше и кинематической ширины и кинематическая длина меньше кинематической ширины агрегата.

Influence of length kinematic unit on its performance. A.I. Anikeev,
Y.A Serdyuk

Analysis of the design schemes for units with one, two or more kinematic links, consider the elements of turning the unit when the length is greater than the kinematic and kinematic width and length less than the kinematic width of the unit.

УДК 621.787.4

**УСТРАНЕНИЕ ВОЛНИСТОСТИ ПРИ ОБКАТЫВАНИИ
ДЕТАЛЕЙ РОЛИКАМИ**

Б.И. Бутаков, доктор технических наук, профессор

В.А. Артюх, инженер

С.С. Креминский, студент группы М5/3

Николаевский национальный аграрный университет

Сформулирована и экспериментально обоснована причина появления волнистости на поверхности при обкатывании торообразными роликами

– колебание усилия обкатывания из-за наличия больших сил трения скольжения в механизме нагружения ролика.

Ключевые слова: обкатывание роликом, поверхностно пластическое деформирование, трение скольжения, торообразный ролик.

Основной причиной появления волнистости некоторые исследователи считают наличие торцевого биения ролика, приводящее к переменной подаче обкатывания [1 – 3].

Несмотря на существенное влияние, которое продольная подача вносит в процесс деформации поверхностного слоя, влияние обкатывания на изменение исходной шероховатости при этом остается таким же, как при обкатывании без подачи.

Это проверено экспериментально и остается справедливым при равенстве количества проходов без подачи приведенному количеству проходов i ролика с подачей, определяющееся в зависимости от ширины контактной канавки $2a_0$, подачи s и количества продольных проходов ролика $i_{прод}$.

$$i = \frac{2a_0}{s} i_{прод}. \quad (1)$$

При обкатывании с продольной подачей ролика формируется новый микропрофиль поверхности, который накладывается на деформированную исходную шероховатость.

Обкатанная поверхность сохраняет винтовой след подачи ролика. Высота вновь созданных при этом неровностей на участке стабильного процесса может быть рассчитана геометрически:

$$R_z'' = r_p - \frac{\sqrt{4r_p^2 - s^2}}{2}, \quad (2)$$

где R_z'' – высота неровностей, мм;

r_p – радиус кривизны ролика, мм;

s – подача ролика, мм/об.

Шаг этих неровностей равняется подаче ролика (рис. 1). Опытная проверка связи шероховатости с подачей ролика показывает, что зависимость (2) хорошо соблюдается при относительно больших подачах.

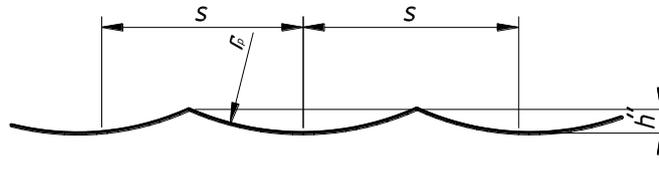


Рис. 1. Профиль неровностей при обкатывании роликом

При подачах больше 0,78 мм/об высота неровностей совпадает с расчетной; при меньших подачах высота сохраняется в пределах 0,28 - 0,35 мкм и от подачи не зависит. В этом случае на обкатанной поверхности образуется волна с шагом, отличным от подачи.

В этом случае высота волн не выходит из пределов 7-го класса шероховатости. В других случаях волнистость при обкатывании может быть значительно глубокой. При малой шероховатости поверхности в пределах одного шага волны (0,18 мкм) сама волна с шагом 2,5 мм имеет высоту 0,16 мкм.

Высота волны при обкатывании уменьшается с увеличением профильного радиуса ролика или с уменьшением усилия, то есть с уменьшением угла вдавливания ролика, и не зависит от подачи и скорости обкатывания.

Рассмотрим этот процесс подробнее. Автор работы [1] считает что по мере вращения детали ролик вращается и подается (рис. 2, а), при этом углу поворота ролика ψ соответствует угол поворота детали $\psi D_p/D_d$ и подача ролика на величину, определяющаяся следующим выражением:

$$S_\psi = s \frac{\psi}{2\pi} \cdot \frac{D_p}{D_d}, \quad (3)$$

где s – подача ролика на один оборот детали, мм.

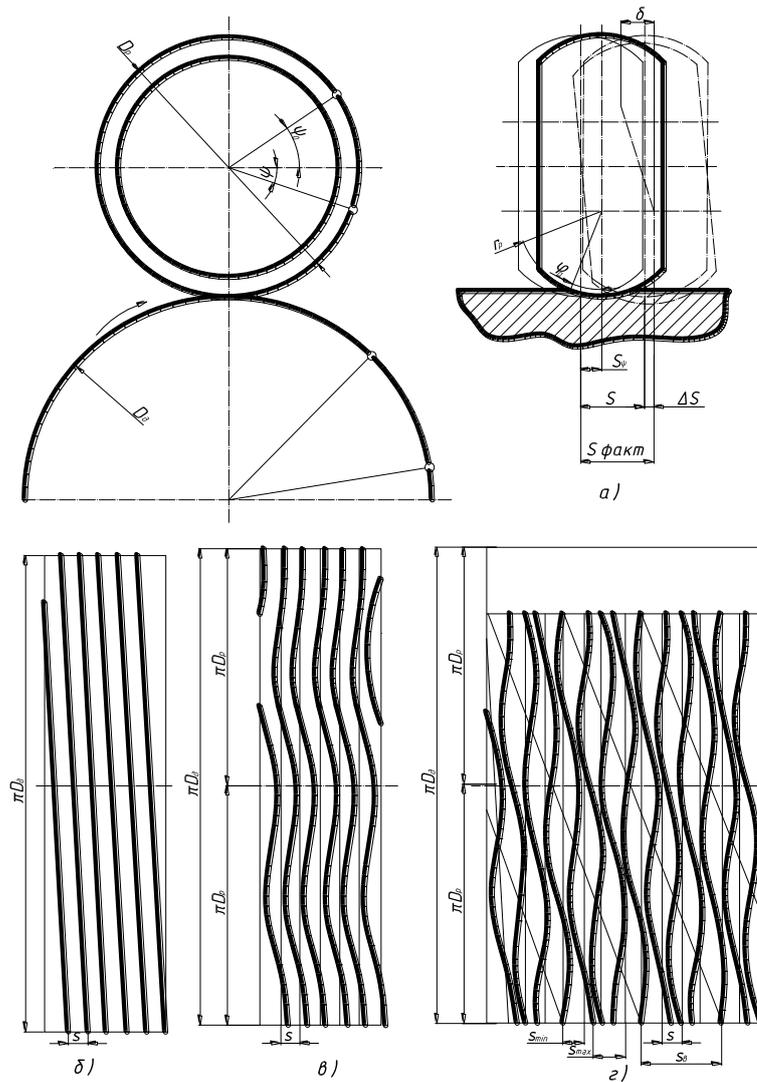


Рис. 2. Образование волнистости поверхности при обкатывании:
 а – изменение подачи при осевом биении ролика, б – развертка поверхности вала, обкатанного роликом, не имеющим осевого биения, в – развертка поверхности вала, обкатанного роликом с осевым биением при кратных диаметрах детали и ролика, г, – развертка поверхности вала, обкатанного роликом при некратных диаметрах детали и ролика

Развернем поверхность детали на плоскость. В случае идеальной схемы контактная канавка постоянного профиля шириной $2a$ расположится на обкатанной поверхности в виде параллельных прямых с постоянным шагом, равным подаче (рис. 2, б). Для реальной детали и ролика схема может существенно измениться.

Рабочая поверхность ролика из-за погрешности изготовления и установки может иметь некоторое осевое и радиальное биение (рис. 2, а). След ролика на развертке обрабатываемой поверхности становится криволинейным.

В результате биения изменяется фактическая подача ролика

$$s_{\text{факт}} = s + \Delta s. \quad (4)$$

Искажение подачи при рассматривании двух смежных следов ролика будет равняться

$$\Delta s = \frac{\delta}{2} \sin\left(\psi_0 + \psi + 2\pi \frac{D_\delta}{D_p}\right) - \frac{\delta}{2} \sin(\psi_0 + \psi) = \delta \cos\left(\psi_0 + \psi + \pi \frac{D_\delta}{D_p}\right) \cdot \sin \pi \frac{D_\delta}{D_p}. \quad (5)$$

В случае кратности диаметров детали и ролика $\sin \pi D_\delta / D_p$, а следовательно, и Δs равняются нулю, то есть подача остается постоянной, несмотря на биение ролика (рис. 2, в).

В общем случае Δs является переменной величиной, зависящей в каждой точке поверхности от угла поворота ролика ψ . Найдем значение угла ψ , что отвечает наибольшему и наименьшему приращениям подачи. Для этого приравняем к нулю производную функции $\Delta s = f(\psi)$:

$$\Delta s' = -\delta \sin \pi \frac{D_\delta}{D_p} \cdot \sin\left(\psi_0 + \psi + \pi \frac{D_\delta}{D_p}\right) = 0. \quad (6)$$

Последнее равенство удовлетворяется при

$$\psi_0 + \psi + \pi \frac{D_\delta}{D_p} = \pm \pi n,$$

де $n = 0; 1; 2; 3; \dots$

Отсюда

$$\psi = \pi \left(\pm n - \frac{D_\delta}{D_p} \right) - \psi_0. \quad (7)$$

Подставив найденное значение угла в равенство (5), найдем экспериментальные значения приращения подачи

$$\Delta s_{min}^{max} = \pm \delta \sin \pi \frac{D_d}{D_p} \cdot \quad (8)$$

Из формулы (5) видно, что полный цикл изменения Δs завершается за каждый оборот ролика. При вращении детали участки, обкатанные с одинаковой фактической подачей, смещаются по ее поверхности, как в осевом, так и в круговом направлениях. При этом участки, обкатанные с уменьшенной против номинала подачей, деформируются сильнее и образуют впадину, а обкатанные с увеличенной фактической подачей и менее деформированные – гребень волны. Сливаясь в процессе обкатывания одинаково деформированные участки создают многозаходную винтовую поверхность с определенным шагом – шагом волны (рис. 2, з)

При обкатывании деталей цилиндрическими роликами на их поверхности получают прямоугольный отпечаток, если оси ролика и детали параллельны. В этом случае длина отпечатка на цилиндрической детали определяется длиной ролика или длиной образующей цилиндрической поверхности, ширина отпечатка зависит от приведенной кривизны ролика и детали в плоскости качения ролика. Если оси ролика и детали в осевом их пересечении наклонены под небольшим углом, или вместо цилиндрического ролика применен конический, то на детали получают каплевидный отпечаток, ширина которого уменьшается до нуля в направлении обкатанной поверхности. При этом получают задний угол вдавливания ролика в деталь φ_a (рис. 3) равным 25'-30' при обкатывании сталей, 40'-1° - при обкатывании закаленных сталей и 1° 30' - при обкатывании чугунов [1, 2, 3 - 5].

При таких значениях угла φ_a обеспечивается интенсивная деформация микронеровностей и поверхностного слоя, волнистость на обкатанной поверхности отсутствует. Такой процесс применяют при

обкатывании валов и розкатывании цилиндрических отверстий в крупносерийном и массовом производствах.

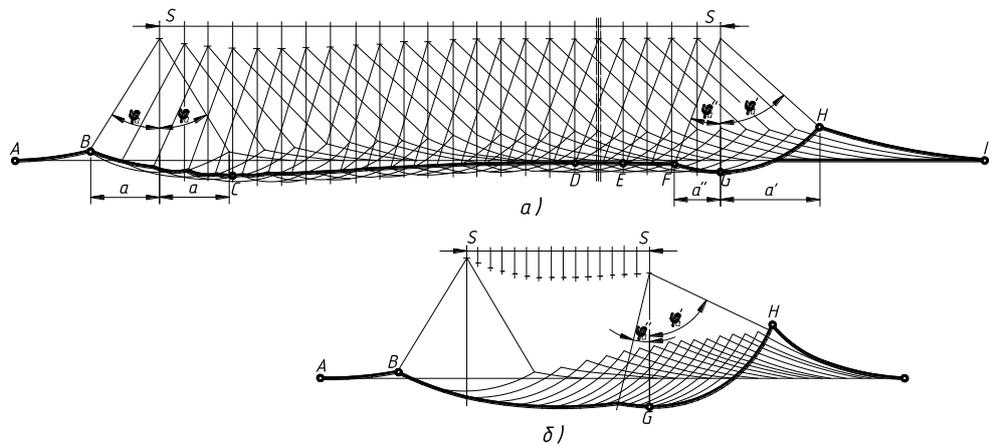


Рис. 3. Схема последовательного деформирования поверхности деталей при обкатывании торообразным роликом с продольной подачей S :
 a – при нормальном процессе; b – процесс деформации не стабилизировался

Каплевидный отпечаток может быть получен и при применении самоустанавливающегося цилиндрического ролика. С помощью силы подачи, возникающей в процессе обкатывания, ролик за счет поворота самоустанавливающейся головки на угол $20'$ - $30'$ обеспечивает получение каплевидного отпечатка [6 – 8].

В том случае, когда оси цилиндрического ролика и детали перекрещиваются, на ней возникает эллиптический отпечаток. Такой же отпечаток может быть получен при обкатывании деталей бочкообразными, сферическими или торообразными роликами.

Во время обкатывания роликом отпечаток превращается в пластично деформированную канавку, которая при обработке цилиндрических поверхностей с подачей представляет собой винтовую линию. Так как

ширина канавки в несколько раз превышает подачу, то при последующих оборотах детали ролик прокатывается по уже деформированной поверхности, несколько расширяя и углубляя канавку.

При нормальном процессе обкатывания торообразным роликом после некоторого числа оборотов детали углубление канавки прекращается (рис. 3, *a*). Ролик соприкасается с каждой точкой поверхности $2a/s$ раз. Перед роликом возникает волна деформированного металла, а расширение контактной канавки приводит к возрастанию контакта, что обуславливает постепенное снижение глубины канавки при последующих оборотах детали и на участке CD процесс обкатывания стабилизируется. Волна металла перед роликом GHI намного больше волны EFG за ним. На всем участке обкатывания до его стабилизации в точке D изменяется угол вдавливания ролика φ_a .

Процесс поверхностного деформирования зависит от силы обкатывания, размеров и профиля ролика, размеров обрабатываемой поверхности, механических свойств обкатываемого металла и числа $2a/s$. При некоторых сочетаниях указанных факторов стабилизация процесса может и не наступить.

Например, на рис. 3, *b* интенсивный рост волны металла перед роликом продолжается до тех пор, пока гребень волны не начнет разрушаться. Участок поверхности ниже остальной обкатанной поверхности. Имеется соотношение [1, 6 - 11] для расчета ширины впадины в начале обкатанной поверхности:

$$L_b = 1,27 \sqrt{\frac{P}{HB}}, \quad (9)$$

где P – усилие обкатывания, H .

При больших углах φ_a вдавливания ролика на обкатанной поверхности детали появляется волнистость с шагом, отличным от величины подачи ролика.

Для предотвращения появления волнистости при чистовом обкатывании рекомендуют принимать угол вдавливания значением $2 - 3^\circ$ (что, однако, ограничивает шероховатость обкатанной поверхности величиной $40 < R_z < 80$ мкм, а для уменьшения волнистости – использовать

ролики с точным рабочим профилем и чаще их перешлифовывать. При упрочняющем обкатывании тонкий поверхностный слой для исключения волнистости поверхности сошлифовывают или стачивают, это существенно уменьшает эффективность упрочнения. Заметим, что силы трения в опорах, суммируясь с рабочим усилием пружинящего элемента обкатного устройства, влияют на величину усилия P ; при наличии же радиального биения ролика эти силы трения в процессе обкатывания становятся переменными по величине и направлению.

С целью проверки данных представлений с помощью универсального динамометра УДМ конструкции ВНИИ нами были измерены составляющие усилия P при обкатывании торообразным роликом вала из наиболее распространенной конструкционной стали 40 (200 НВ) диаметром 100 мм на токарном станке с помощью разработанного и изготовленного на кафедре “Транспортных технологий и технического сервиса” Николаевского НАУ устройства рычажного типа со стабилизацией рабочего усилия обкатывания, показанного на рис. 4 [12].

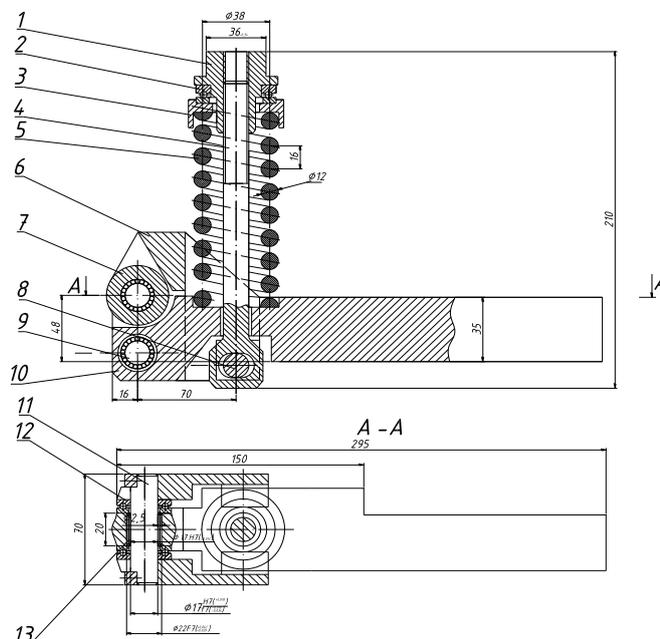


Рис. 4. Конструктивная схема устройства для обкатывания деталей торообразным роликом со стабилизацией рабочего усилия обкатывания

Принцип работы устройства заключается в следующем: ролик 7 установлен с помощью подшипников 12, 13 на оси 11. Усилие пружины 5 через тягу 4, ось 8 и рычаг 6 передается на ролик 7 и передается на обкатываемую деталь. Рычаг 6 установлен на оси 9 с помощью игольчатого и упорных подшипников, и легко перемещается вокруг корпуса 10

Общий вид устройства для обкатывания роликом со стабилизацией рабочего усилия обкатывания представлен на рис. 5.



Рис. 5. Общий вид устройства для обкатывания деталей торообразным роликом со стабилизацией рабочего усилия обкатывания

Жесткость рычажно-пружинного механизма составляет 0,745 кН/мм. Усилие пружины (P_{np}) определяется величиной ее сжатия (f_{np}) в миллиметрах и рассчитывается по зависимости:

$$P_{np} = j_{np} \times f_{np}, \quad (10)$$

где j_{np} – жесткость пружины, $j_{np} = 0,472$ кН/мм.

Усилие P обкатывания на ролике в кН определяют по зависимости:

$$P = P_{np} \times 60/38 = f_{np} \times 0,472 \times 60 / 38 = 0,745 f_{np} \quad (11)$$

где 60 и 38 величины плеч усилия пружины и усилия на ролике соответственно в миллиметрах.

На рис. 6 показана схема действия составляющих усилия обкатывания на деталь.

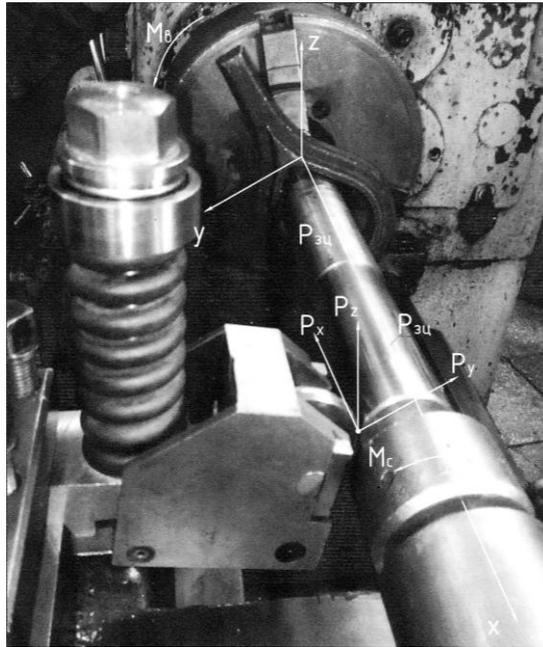


Рис. 6. Составляющие усилия обкатывания на деталь:

P_x – касательное усилие качения ролика; P_y – номинальное усилие поджатия ролика к детали; P_z – усилие подачи; P_{yc} – нагрузка от задней бабки в осевом направлении

На рис. 7 показана осциллограмма составляющих усилия P , полученная при установке роликового узла на опорах скольжения, т.е. применительно к конструкции устройств, используемых на заводах для упрочняющего или чистового обкатывания стальных деталей.

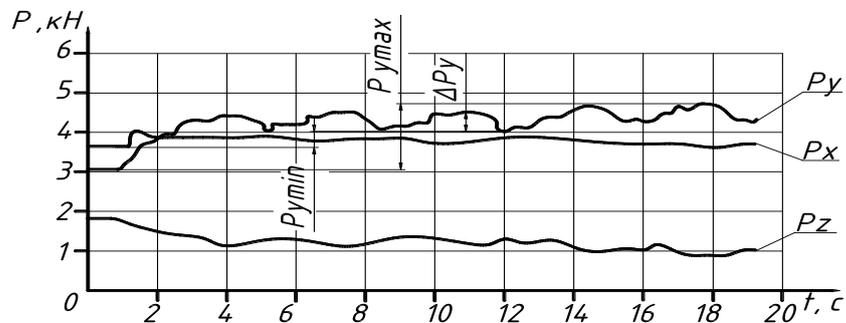


Рис. 7. Осциллограмма составляющих усилия обкатывания P при установке роликового узла на опорах скольжения

Номинальное значение усилия поджима ролика к детали, $P_{yn} = 5 \text{ кН}$, а соотношение: $P_{xn} : P_{yn} : P_{zn} = 0,15 : 5 : 1,5$. Сила P_x в процессе обкатывания остается практически постоянной, а силы P_y и P_z с каждым оборотом ролика периодически изменяются; амплитуда колебания силы P_y составляет $\Delta P_y = 0,45$, а сила P_z (в направлении подачи) изменяется менее заметно. При установке роликового узла на подшипниках качения, как показали измерения, $\Delta P_y < 0,03 P_{yn}$, а колебания сил P_x и P_y практически не обнаружены.

Коэффициент трения в подшипниках скольжения составляет $f_c = 0,05 \div 0,1$, а в подшипниках качения $f_k = 0,003 \div 0,008$, поэтому стабилизация силы P при установке роликового узла на подшипниках качения достигается существенным уменьшением сил трения в опорах. Силы трения в опорах, складываясь с рабочим усилием пружинящего элемента обкатного устройства, влияют на величину усилия P обкатывания; при наличии же радиального биения ролика силы трения в процессе обкатывания становятся переменными по величине и направлению. Это позволило предположить, что основной причиной появления волнистости является наличие колебания усилия P обкатывания при каждом обороте ролика в результате его радиального биения.

Рассчитаем шаг волны S_w при некратных отношениях D_d/D_p . Точками на развертке следа ролика при качении его по детали отмечены места максимального значения усилия P (рис. 8).

Точки, сдвигаясь по поверхности детали, образуют винтовые линии с шагом S_w , превосходящим величину S подачи ролика. Вдоль этих линий деформация металла поверхностного слоя детали получается большей, чем в промежутках между ними, чем и определяется появление волнистости.

Из подобия треугольников ABC и A_1B_1C получим

$$S_w = D_p S / (D_p N - D_d), \quad (12)$$

где: $N = D_d/D_p + 1$ (здесь D_d/D_p - целая часть отношения). Данное выражение справедливо для случая, исключаящего проскальзывание

ролика по детали при их взаимном вращении, при наличии скольжения фактический шаг волны может значительно отличаться от расчетного. Разворотом оси ролика вокруг перпендикуляра к поверхности контакта в ту или другую сторону можно изменить степень проскальзывания ролика и тем самым повлиять на величину S_w .

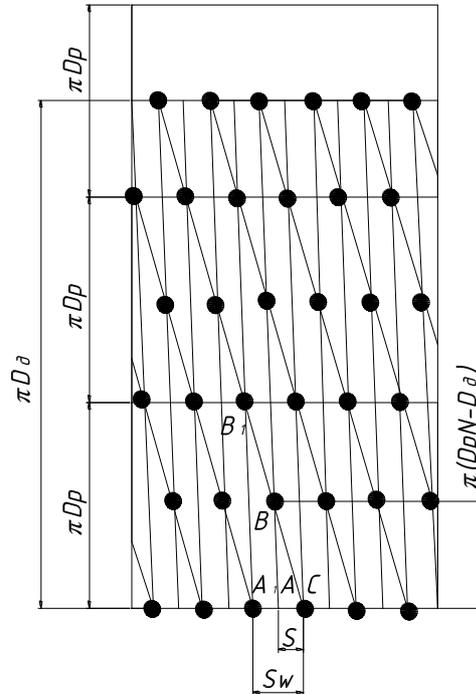


Рис. 8. Схема расчета шага S_w волны при обкатывании роликами

Стабилизируя с помощью установки роликового узла на подшипниках качения усилие P можно исключить появление волнистости при больших углах вдавливания, которые свойственны даже упрочняющему обкатыванию. При этом удастся получить шероховатость поверхности $R_a = 0,08 - 0,32$ мкм при исходной $R_z = 80 - 160$ мкм, и кроме того, совместить чистовое и упрочняющее обкатывание.

Представленные на рис. 9 профилограммы поверхности вала из наиболее мягкой из всех конструкционных сталей, 20, HV 140 (при обкатывании этой стали имеет место максимальная волнистость обработанной поверхности) до обкатывания и после при $P_{yn} = 5$ кН, $S = 0.2$

мм/об детали, $D_d = 117$ мм, $D_p = 60$ мм, свидетельствуют об эффективности установки роликового узла на подшипниках качения.

На кривой (рис. 9, в) видна волнистость на обкатанной поверхности с шагом $S_w = 3,9$ мм, что соответствует значению S_w , рассчитанному по формуле (12).

Эффективность обкатывания может быть повышена также за счет применения роликов малого диаметра (бочкообразных и цилиндрических), что полностью исключает появление волнистости и при трении скольжения роликового узла в устройстве в следствии малости угла φ_a .

Разработан и исследован способ стабилизации усилия обкатывания при установлении роликового узла на опорах качения, что позволяет устранить появление волнистости обкатыванием торообразными роликами при больших средних углах вдавливания роликов ($\varphi \leq 5^\circ$) и совместить упрочняющее и чистовое обкатывание.

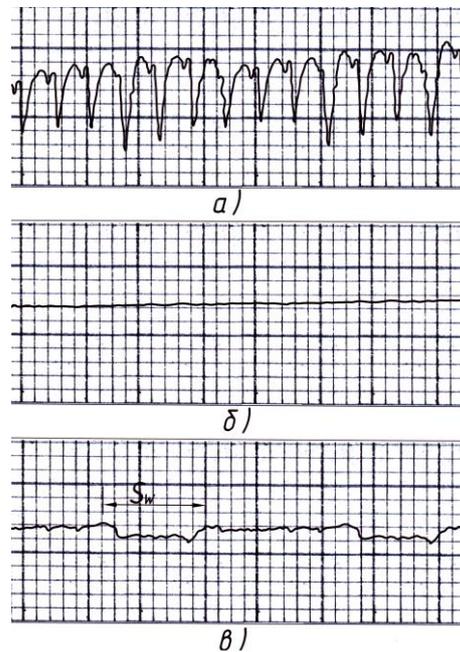


Рис. 9. Профилограммы поверхности вала из стали 20:

а – до обкатывания $R_z = 100$ мк; *б* – после обкатывания при установке роликового узла на подшипниках качения ($R_a = 0,08 - 0,16$ мкм); *в* – после обкатывания при установке роликового узла на опорах скольжения

Литература

1. Браславский В. М. 1975. Технология обкатки крупных деталей роликами / В. М. Браславский. 2-е изд. – М.: Машиностроение, – 160.
2. Азаревич Г. М. 1963. Чистовая обработка цилиндрических поверхностей пластическим деформированием / Г. М. Азаревич, Г. Ш. Берштейн - М.: ОНТИ НИИ Тракторсельхозмаша, - 43.
3. Браславский В. М. 1975. Технология обкатки крупных деталей роликами / Браславский В. М. - М.: Машиностроение, - 160.
4. Одинцов Л. Г. 1987. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием / Л. Г. Одинцов – М.: Машиностроение, – 160.
5. Рыжов Э. В. 1971. Повышение износостойкости соединений технологическими методами обработки / Рыжов Э. В., Браславский В. М., Топычканов В. В. Науч. – тех. сб. Брян. ин – та транспорт. Машиностроения. – №2. — С. 47 — 51.
6. Рыжов Э. В. 1972. Влияние усилия обкатывания на геометрию неровностей / Рыжов Э. В., Браславский В. М., Топычканов В. В. Науч. – тех. сб. Брян. ин – та транспорт. Машиностроения. – №2. — С. 47 — 51
7. Рыжов Э. В. 1979. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Рыжов Э. В., Суслов А. Г., Федоров В. П. – Л.: Машиностроение, – 176с.
8. Шнейдер Ю. Г. 1982. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Шнейдер Ю. Г. – Л.: Машиностроение, – 248с.
9. Коновалов Е. Г. 1968. Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей / Коновалов Е. Г., Сидоренко В. А. – Минск: Вышейш. шк., – 364с.
10. Кудрявцев И. В. 1984. Новые способы поверхностного пластического деформирования / И. В. Кудрявцев, Р. Е. Грудская. Машиностроитель, № 7, 28-29.

11. Фридман Я. Б. 1987. Механические свойства металлов / Я. Б. Фридман — М.: Машиностроение, — 556.

12. Пат. 71119 Україна, МПК В24В 39/00. Пристрій для зміцнюючого та чистового обкатування поверхонь тіл обертання зі стабілізацією робочого зусилля / Б. І. Бутаков, В. О. Артюх; заявник і власник Бутаков Б. І. – № u201112463; заявл. 24.10.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. №13.

Усунення волнистості при обкатуванні деталей роликками. Б.И. Бутаков, В.А. Артюх, С.С. Креминский

Сформульована і експериментально обґрунтована причина появи хвилястості на поверхні при обкатуванні Торообразная роликками - коливання зусилля обкатування через наявність великих сил тертя ковзання в механізмі навантаження ролика.

Waviness elimination at obkativanni parts rollers. В.І. Butakov, V.A. Artyukh, S.S. Kreminskiy

Formulated and experimentally proved the cause of the undulations on the surface at obkativanii toroidal roller - swing obkativanii efforts because of the large forces of friction in the mechanism of the loading roller.

УДК 541.13

**АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ
ОЗОНУ ГЕНЕРОВАНОГО В ПОЛІ ВИСОКОЧАСТОТНОГО
КОРОННОГО РОЗРЯДУ**

Д.О. Захаров, асистент

Миколаївський національний аграрний університет

В роботі проаналізовано методику визначення концентрації озону, що генерується в полі високочастотного коронного розряду. Визначено

фактори, що характеризують вплив параметрів електричного розряду на інтенсивність реакцій по утворенню озону в плазмі коронного розряду.

Ключові слова: плазмохімічні реакції, коронний розряд, озон.

Слід зазначити, що одним з перспективних напрямків розробки електротехнологічного обладнання для обробки сільськогосподарської продукції в полі коронного розряду, є проблема визначення залежності між кількісною концентрацією молекул озону, що генерується, від параметрів коронного розряду.

Під час виконання аналізу реакцій, що проходять в плазмі коронного розряду необхідно визначити склад газу в якому проходять плазмохімічні реакції. На основі наявних у газі молекул складається набір елементарних кінетичних реакцій. Особливо важливим фактором, що впливає на точність розрахунків, є точність визначення констант швидкості елементарних реакцій. Вплив параметрів електричного розряду на перебіг реакцій по утворенню озону в даному випадку характеризується початковою концентрацією електронів в між електродному проміжку.

Апарат формальної кінетики газофазних процесів дозволяє визначити концентрації початкових складових газу та продуктів реакції в будь який момент часу. Це дозволяє підібрати оптимальну швидкість руху повітря в розрядній камері озонатора, з метою підвищення продуктивності озонатора. Це пояснюється тим, що в повітрі під дією коронних розрядів разом з озоном утворюється діоксин азоту, який в свою чергу виводить атомарний кисень з процесу утворення озону (1):



Для визначення концентрації продуктів реакції газофазних процесів керуються наступним алгоритмом:

1. складається система кінетичних рівнянь в диференціальній формі;
2. шляхом інтегрування диференціальних рівнянь одержується система кінетичних рівнянь в інтегральній формі;

3. проводиться розв'язок системи відповідно до змінної концентрація якої визначається.

Проте слід зазначити, що аналізуючи процеси в плазмі повітряного коронного розряду система диференціальних рівнянь є досить складною, тому доцільно застосовувати чисельні методи розрахунку.

Так концентрації молекул та радикалів, що утворюються в розряді, визначаються з системи диференціальних рівнянь виду (2):

$$\frac{dC_i}{dt} = -\sum_{j=1}^n k_{ij} \cdot C_i + \sum_{j=1}^n k_{ji} \cdot C_j \quad (2)$$

де $\frac{dC_i}{dt}$ – швидкість перетворення речовини i , тобто зміна концентрації речовини i за одиницю часу;

k_{ij} – константа швидкості елементарної реакції;

C – концентрація молекул речовини.

В ході виконання даної роботи проаналізовано різні шляхи генерації озону в полі високочастотного коронного розряду, та виділено елементарні реакції, що призводять до руйнування молекул O_3 та виводу молекулярного кисню з реакцій утворення озону. Проаналізовано алгоритм визначення концентрації реагентів під час проходження плазмохімічних реакцій.

Література

1. Щерба А.А., Дубовенко К.В. Высоковольтные электроразрядные компактные системы/ – К.: Наукова думка, 2008. – 264 с. 448.
2. Дубовенко К.В. Знезараження зернової продукції імпульсним коронним розрядом / Дубовенко К.В., Захаров Д.О. // Вісник національного технічного університету «ХПІ» №61 (967). – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – С. 139 – 149.

3. Искусственная ионизованная область как источник озона в стратосфере / [А. В. Гуревич, А. Г. Литвак, А.Л. Вихарев и др.] // Успехи физических наук. – 2000. – т. 170 № 11. – С. 1181–1202.

Анализ подходов к определению концентрации озона генерируемого в поле высокочастотного коронного разряда. Д.А. Захаров

В работе проанализировано методику определения концентрации озона, генерируемого в поле высокочастотного коронного разряда. Определены факторы, характеризующие влияние параметров электрического разряда на интенсивность реакций по образованию озона в плазме коронного разряда.

Analysis of approaches to determine the concentration of ozone generated in the high-frequency corona discharge. D.A. Zakharov

The paper analyzed the method for determining the concentration of ozone generated in the high-frequency corona discharge. The factors that characterize the influence of the electric discharge parameters on the intensity of the reactions on the formation of ozone in the corona plasma.

УДК 621.3

**ДОСЛІДЖЕННЯ ІЗОЛЯТОРІВ І СТРУМОПРОВІДНИХ
ШИН НА ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНУ СТІЙКІСТЬ
ПРИ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ**

О.С. Кириченко, кандидат технічних наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет

Виконано дослідження ізоляторів і струмопровідних шин на електродинамічну стійкість при короткому замиканні з використанням аналітичного методу розрахунку. Проаналізовано характеристики для

максимального напруження в шинах і для максимального навантаження на ізолятори з дотриманням умов електродинамічної стійкості при коротких замиканнях. В якості прикладу досліджено електродинамічну стійкість при короткому замиканні односмугових шин прямокутного перерізу $10 \times 0,6$ см.

Ключові слова: струмопровідна шина, ізолятор, коротке замикання, електродинамічна стійкість, максимальне напруження, навантаження на ізолятори.

В результаті проведеного огляду ряду робіт з дослідження ізоляторів і струмопровідних шин на електродинамічну стійкість в якості найбільш зручного обрано аналітичний метод розрахунку. З використанням цього аналітичного методу виконано дослідження впливу геометричних параметрів ізоляторів і односмугових прямокутних струмопровідних шин з алюмінієвого сплаву на електродинамічну стійкість при короткому замиканні. Отримано характеристики для максимального напруження в матеріалі шин і для навантаження на ізолятори, виконано перевірку на відповідність умовам електродинамічної стійкості.

Наведено алгоритм розрахунку для дослідження впливу геометричних параметрів ізоляторів і струмопровідних шин на електродинамічну стійкість при короткому замиканні.

Як приклад досліджено електродинамічну стійкість при короткому замиканні односмугових шин прямокутного перерізу $10 \times 0,6$ см з алюмінієвого сплаву з модулем пружності $E = 7 \cdot 10^{10}$ Па, які розташовані одна відносно одної вузькими сторонами. Відстань між шинами становить 0,7 м, ударний струм трифазного короткого замикання дорівнює 87 кА, постійна часу прийнята рівною 0,05 с.

Отримані залежності максимального напруження в матеріалі шин і навантаження на ізолятори для різної довжини прольоту, а також для різної ширини і довжини шини. Значення максимального напруження в

матеріалі шин і навантаження на ізолятори не перевищують гранично допустимих значень відповідно: 89,2 МПа і 4500 Н.

Встановлено, що геометричні параметри ізоляторів і струмопровідних шин чинять істотний вплив на максимальне напруження в матеріалі шин і навантаження на ізолятори.

Література

1. Долин А. П. Расчет электродинамической стойкости и других параметров жесткой ошиновки ОРУ высоких и сверхвысоких напряжений / А. П. Долин // Научный журнал «Электрические станции». № 4. М.: Энергопрогресс, 2005. – С. 49-53.
2. Долин А. П. Применение современных шинодержателей в отечественных конструкциях жесткой ошиновки / А. П. Долин, Л. Е. Егорова // Журнал «Электроэнергия. Передача и распределение». № 4(13). М.: ООО «Кабель», 2012. – С. 64-69.
3. Kyrychenko O. Electrodynamics stability of isolators and bus bars in a short circuit / O. Kyrychenko // Вісник аграрної науки Причорномор'я: науково-теоретичний фаховий журнал. Вип. 3(73). Миколаїв, 2015. - С. 192-199.

Исследование изоляторов и токопроводящих шин на электродинамическую стойкость при коротком замыкании.
О.С. Кириченко

Выполнено исследование изоляторов и токопроводящих шин на электродинамическую стойкость при коротком замыкании с использованием аналитического метода. Проанализированы характеристики для максимального напряжения в шинах и для максимальных нагрузок на изоляторы с соблюдением условий электродинамической стойкости при коротких замыканиях. В качестве

примера исследована электродинамическая стойкость при коротком замыкании однополосных шин прямоугольного сечения $10 \times 0,6$ см.

Research centers and busbars on electrodynamic short-circuit resistance.

O.S. Kirichenko

The research of the influence of the geometric parameters of isolators and single-lane bus bars on the electrodynamic stability in a short circuit is conducted using this analytical method. The characteristics obtained for the maximal tension in bus bar and for isolator's load are checked for conformity with the conditions of electrodynamic stability. As an example the electrodynamic stability in a short circuit of the single-lane bus bars with rectangular cross-section $10 \times 0,6$ cm is investigated.

УДК 628.9:631.227:636.5

ВПЛИВ КОЛЬОРУ ОСВІТЛЕННЯ НА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ПТИЦІ

В.В. Корсун, студент групи Ен4/1

О.С. Садовий, асистент

І.В. Петров, старший викладач

Миколаївський національний аграрний університет

В статті розглянуто світлові та кольорові режими для курей різного віку з утриманням в кліткових батареях.

Ключові слова: колір, світловий режим, освітлення.

Тривалими спостереженнями за птахами встановлена пряма залежність функцій організму і тону життєдіяльності від тривалості світлового дня. [1] Довгий світловий день, веде до активізації життєвих процесів в організмі птахів, більшого споживання корму, більш швидкому зростанню і розвитку організму, а також підвищення їх продуктивності.

Щоб повною мірою користуватися цим фактором регуляції життєвих функцій організму птахів, на птахофабриках перейшли до утримання курей і інших птахів при штучному освітленні, а при будівництві пташників відмовилися від вікон і природного освітлення.

Було встановлено, що найбільший ефект продуктивності і активності у молодих курей-несучок буває, якщо їх містять при тій же освітленості, при якій вони росли від 61 до 140 денного віку. Зниження або збільшення світлового дня веде до зниження продуктивності. Підвищення або зниження тривалості світлового дня слід здійснювати поступово, збільшуючи або зменшуючи його на кілька хвилин.

Надлишкова освітленість, особливо при клітковому утриманні, викликає канібалізм і розкльовування, які призводять до загибелі птахів або до їх вибракування [2] рис. 1.

Для промислового стада курей рекомендується застосовувати диференційований світловий режим.

Для досягнення оптимальної продуктивності курей-несучок на основі загального режиму освітленості пташників, були розроблені режими і графіки зміни освітленості пташників, які забезпечують найбільшу продуктивність курей-несучок.

Сьогодні пташники знаходяться на цілодобовому штучному освітленні, тому частка електроенергії, що споживається освітлювальною установкою з лампами розжарювання в добовому електроспоживанні пташника складає 25 - 30%. В умовах безперервного зростання ціни на електроенергію вартість цієї частки безперервно зростає, тому актуальною стала проблема економії електроенергії [3] Використання світлодіодного освітлення дозволяє знизити витрату електроенергії до десяти разів, характерними відмінностями застосування таких лампи є те що, встановлені в ній світлодіоди можуть випромінювати різні спектри відповідно до технологічного процесу утримання птиці.

Параметр	Червоний	Помаранчевий	Жовтий	Зелений	Блакитний
Підвищення маси					
Сповільнення статевого дозрівання					
Прискорення статевого дозрівання					
Зниження стресу					
Зниження катаболізму					
Підвищення яєчної продуктивності					
Зниження яєчної продуктивності					
Збільшення розмірів яйця					
Збільшення плодовитості самців					

Рис. 1. Залежність біологічних характеристик птиці від кольору системи освітлення

Тому виходячи з вище викладеного в табл. 2 була запропонований світловий режим для оптимального утримання птиці.

Таблиця 1

Світловий режим для курчат і курей-несучок в безвіконних приміщеннях

Вік птахів (днів))	Тривалість світлового дня	Включення електроосвітлення години, хв	Включення електроосвітлення години, хв
1-3	17.00	8.00	1.00
4-60	14.00	8.00	22.00
61-140	9.00	8.00	17.00
141-160	10.00	8.00	18.00
161-180	11.00	8.00	19.00
181-200	12.00	8.00	20.00
201-220	13.00	8.00	21.00
221-240	14.00	8.00	22.00
241-до кінця утримання	15.00	7.00	22.00

Процес впровадження енергозберігаючих джерел забезпечує значне зниження використання електроенергії та забезпечує підвищення продуктивності курей-несучок на 7-10%. Використання світлодіодних джерел світла спрощується тим, що можливо використання існуючі освітлювальні установки.

Виходячи з наведених вище факторів доцільним є використання 5 кольорових світлодіодних ламп типу ЕСКЛЛ-20 з світильником НСП01. В результаті цих заходів рівень коефіцієнта освітленості знизиться $K_{сн} = K_{\phi} \cdot 0,95 \cdot K_{кнд} = 0,75 \cdot 0,89 \cdot 0,45 = 0,299$

Отримані величини скоригованої освітленості циклом прийнятні з урахуванням червоної кольоровості освітлення.

Світловий режим для кур-несучок

Час	Заходи	Ефект
4 ⁰⁰ -6 ⁰⁰	перше включення світла	раннє включення світла сприяє більш ранньому і кращому формуванню яйця. Кури клюють корм, п'ють воду
6 ⁰⁰ -8 ⁰⁰	виключення світла, темновий проміжок	птиці продовжують спати: чистити пір'ячко і несуться
8 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	друге включення світла	кури харчуються: клюють корм, п'ють
11 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	друге включення світла	птиці продовжують спати і відпочивають
13 ⁰⁰ -20 ⁰⁰	третій світловий проміжок	годування, клювання корму, питво
20 ⁰⁰ -4 ⁰⁰	третє включення світла для нічного відпочинку	сон
4 ⁰⁰ -20 ⁰⁰	разом неспання птиці = 16 годин	
20 ⁰⁰ -4 ⁰⁰	нічний відпочинок сон = 8 годин	

Встановлено, що червоне освітлення робить дуже великий позитивний вплив на поведінку птиці:

1. воно прискорює статеве дозрівання птиці;
2. знижує нервозність і войовничість;
3. зменшує канібалізм;
4. підвищує яєчну продуктивність курей-несучок ~ на 10%.

Застосування світлодіодних джерел світла забезпечує значне зниження використання електроенергії до 10 разів та забезпечує підвищення продуктивності курей-несучок на 7-10%.

Література

1. Костомахін М. М. Розведення з основами приватної зоотехнії / М. М. Костомахін Спб. «Лань» 2006р.
2. Коба В.Г. Механізація і технологія виробництва продукції тваринництва / В.Г Коба, Н.В Брагінець М «Колос» 2000р.
3. «Технологія виробництва і переробки тваринницької продукції» Г.В Родіонов М «Колос» 2005р.
4. Кнорринг Г.М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения / Г.М. Кнорринг – Л.: Энергия, 1973. – 200 с.
5. под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, Справочная книга по светотехнике/ под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат 1995. – 528 с.
6. под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Знак Справочная книга по светотехнике/ под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М 2006. – 950 с.
7. Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики. ГОСТ 30331.2-95 (МЭК364-3-93). – 48 с.

Влияние цвета освещения на жизненный цикл птиц. В.В. Корсун, А.С. Садовый, И.В. Петров

В статье рассмотрены световые и цветовые режимы для кур разного возраста с содержанием в клеточных батареях.

The effect of color lighting on the life cycle of a bird. V.V. Korsun, A.S. Sadovuy, I.V. Petrov

The article considers light and color modes for chickens of different ages with the contents of the cell batteries.

УДК 621.7:621.8+539.4

**МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПРИ РОБОТІ
СТАЛЬНИХ КАНАТНОГО БЛОКУ І КАНАТУ**

Д.Д. Марченко, кандидат технічних наук, в.о. доцент

Миколаївський національний аграрний університет

В статті приведені результати досліджень напружено-деформованого стану при роботі сталевих канатного блоку і канату. За допомогою кінцево-елементного моделювання виконано чисельне рішення просторової і плоско-напруженої контактної задачі при використанні прикладних програмних комплексів APM WIN Machine і Structure CAD. Результати аналізу статичного і динамічного навантаження пари показали, що максимальний рівень контактних напружень (поля напружень), а отже і найбільша інтенсивність трибоконтального зношування, приходить на робочий профіль канатного блоку, а саме на тороїдальну і конічні поверхні за рахунок зминання канатом робочої поверхні.

Ключові слова: пара тертя, обкатування роликком, зміцнення, канатний блок, канат, метод кінцевих елементів.

Мікронерівності робочих поверхонь викликають дуже значні зміни контактних напружень в крайньому поверхневому шарі. Напруження, які з'являються на нерівностях поверхні, можуть значно перевищувати напруження зсуву, що виникає на критичній глибині під поверхнею контакту. Навантаження концентрується на гребінцях мікронерівностей, ультрамісцеві напруження легко переходить межу пружності і пластичну деформацію матеріалу і розпочинається зі зминання вершин мікровиступів. З підвищенням навантаження пластична деформація захоплює групи гребінців, розташованих на вершинах макронерівностей поверхні, деформуючи їх і утворюючи окремі плями в зоні загальної

поверхні контакту. На окремих ділянках пластична деформація може поєднуватися з пружною деформацією матеріалу залежно від форми нерівностей, розмірів, поєднання в їх розташуванні і, нарешті, залежно від пружних і пластичних властивостей самого матеріалу і його поверхневого шару.

Збільшення стискуючих навантажень понад певну межу, залежну від властивостей матеріалу, порушує картину розподілу пружних деформацій і напружень, оскільки викликає безповоротні деформації в значних об'ємах, сумірних із загальним об'ємом матеріалу, охопленою місцевою деформацією. Проте пластична деформація гребінців мікронерівностей і навіть усього поверхневого шару є обов'язковим для будь-якого одноразового навантаження реальних поверхонь.

При повторному навантаженні поверхні тим же навантаженням пластична деформація крайнього поверхневого шару поновлюється, але в значно меншій мірі і швидко затухає, хоча повністю не припиняється ні при повторному статичному стисканні, ні тим більше при коченні або коченні з ковзанням [1].

В процесі роботи при циклічних контактних навантаженнях відбувається безперервна зміна властивостей крайнього поверхневого шару і до моменту початку втомного руйнування в роботі бере участь матеріал з абсолютно іншими властивостями, ніж в початковий період [2].

При граничному навантаженні пружно-пластичні деформації в контакті, маючи на увазі, що при обмеженому числі навантажень виникаюче змінання поверхонь має деяку межу, залежну від пристосовності матеріалу, або ж змінання прогресує, але украй повільно. Така ж поведінка матеріалу в зоні контакту можлива і при великому числі циклів навантаження, але при цьому вже доводиться враховувати такі явища, як диспергування поверхні, стирання, втомне руйнування в різних взаємодіях залежно від умов роботи деталей і, авжеж, властивостей матеріалів, що вступають в контакт.

У одних випадках переважає втомне руйнування робочого шару, в інших – прямий знос, в третіх – їх комбінація в різних «пропорціях».

Маючи на увазі, що в реальних конструкціях має місце і «чиста» втома, і пряме стирання, і переформовування поверхонь контакту за рахунок пластичних деформацій, необхідно зважати на трудність оцінки комбінованої дії вказаних чинників. Тому зрозуміле прагнення фахівців спростити завдання, абстрагуватися від деяких моментів, обмежити число параметрів при розгляді картини руйнувань в контакті. Наприклад, при побудові методу розрахунку сталевих підйомних канатів по терміну служби можна спиратися на один тільки параметр, на механічний знос дротів, на стирання їх при взаємному ковзанні в процесі вигину канату на блоках і барабанах. Але можна прийняти і інший критерій, також єдиний, – критерій втомного руйнування дротів, що повторно навантажуються в контактах між собою і між дротами і струмками блоків (підсумовуючи при цьому контактні напруження з напруженнями від згину, кручення, розтягування). Насправді ж, як відомо, істотно впливають обидва чинники зносу канату, хоча в різних умовах по-різному (шахтний підйом, поліспастичний підйом крану та ін.) [3].

Практика експлуатації дротяних канатів показує, що нерівномірний розподіл напружень по шарах істотно знижує довговічність канатів, оскільки переобтяжені шари дротів швидко руйнуються, а розвантажені шари дротів відшаровуються. Міра нерівномірності розподілу напружень між дротами канату може бути оцінена величиною механічного зносу дротів канату [4 – 6].

Однією з основних проблем прикладної механіки є побудова методів, що дозволяють адекватно оцінювати напружено-деформований стан (НДС) різноманітних технічних об'єктів [7 – 9]. Тому пропонується провести чисельний аналіз для визначення НДС при роботі канатного блоку і канату за допомогою методу кінцево-елементного моделювання.

Об'єктами дослідження являється пара «канатний блок – канат».

Стальний канатний блок виготовлений зі сталі 35Л (ГОСТ 977 – 88) відповідно до конструкторської документації на судоперевантажувач «KRUPP». Радіус робочого профілю канатного блоку $r_0 = 18$ мм; глибина профілю $h = 50$ мм; діаметр канатного блоку по діаметру робочого профілю = 800 мм; половина кута робочого профілю струмка канатного блоку $\alpha_0 = 22,5^\circ$; модуль пружності канатного блоку $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$.

Стальний канат подвійного звивання з лінійним торканням дротів в пасмах типу ЛК-РО конструкції $6 \times 36(1+7+7/7+14)+7 \times 7(1+6)$ з металевим осердям виконаний по ГОСТ 7669 – 80. Модуль пружності матеріалу дротів $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$; коефіцієнт тертя $\mu = 0,2$. Кут обхвату канатом робочого профілю канатного блоку 180° . Одна з торцевих поверхонь канату жорстко закріплена через канатний блок на балансири з гідравлічними амортизаторами, який слугує для натягу канату з метою зменшення динамічних коливань і пом'якшення ударів при різних послабленнях або розриві одного із пасів канату (тут і далі під торцевою поверхнею пасму канату мається на увазі сукупність торцевих поверхонь складових її дротів). На протилежному торці, який проходить через систему поліспастів до канатного барабану, моделюється поверхня з поведінкою, яка точно відповідає реальним умовам навантаження пасму канату. Дослідження розповсюджуються на випадки статичного і динамічного навантаження торцевої поверхні пасму з жорсткою поведінкою. До неї прикладаються повздовжня розтягуюча сила, момент, який викликає скручування пасму.

Для кінцево-елементного рішення даної контактної задачі при роботі сталених канатного блоку і канату були використані прикладні програмні комплекси APM WIN Machine і SCAD Office.

Для створення розрахункової геометрії досліджуваного об'єкту використовувалася одна з розповсюджених в інженерній практиці систем твердотільного трьохвимірної проектування. Просторова модель була

виконана в графічному редакторі AutoCAD та імпортована через STEP формат в препроцесор трьохвимірного графічного редактора APM Studio, що входить до програмного комплексу APM WIN Machine, для моделювання з використанням об'ємних твердотільних (солід) елементів [10, 11]. На рис. 1 показано результати моделювання геометрії пари канатного блоку і канату.

Після створення/імпорту просторової геометричної моделі були послідовно вказані пари контактуючих деталей і поверхонь, по яким буде відбуватися взаємодія. На поверхні співпадаючих граней таким чином були створені контактні і цільові елементи.

Підготовчий етап розрахунку включає розбивку просторової моделі «канатний блок – канат» на чотирихвизлові кінцеві елементи у вигляді сітки тетраедрів (рис. 2). Кількість елементів кінцево-елементної моделі – 116695; кількість вузлів – 34769; кількість ступенів свободи – 104307.

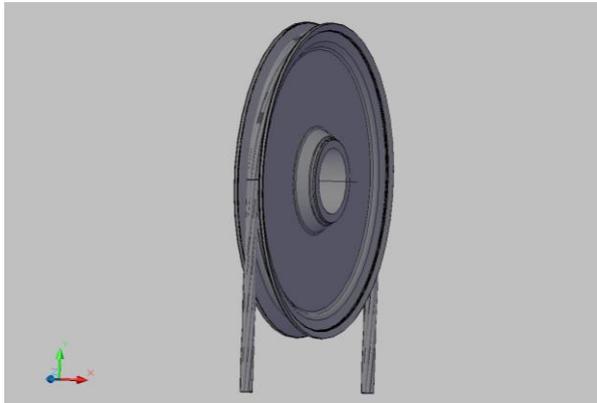


Рис. 1. Просторова геометрична модель



Рис. 2. Кінцево-елементна розрахункова просторова модель

Після розбиття кінцево-елементної сітки розрахункова модель імпортувалася в модуль аналізу на міцність APM Structure3D програмного комплексу APM WIN Machine, де задавалися закріплення вузлів і властивості матеріалу, прикладались навантаження, що спостерігаються в умовах експлуатації пари «канатний блок – канат», вносились властивості контактуючих зон і елементів.

Розрахунок контактної взаємодії проводився в рамках нелінійного розрахунку, в т.ч. і статичного розрахунку, в припущенні малих переміщень і пружних деформацій. В процесі розрахунку створювалися фіктивні елементи, що пов'язують контактуючі поверхні, і, в залежності від відносного переміщення вузлів цих поверхонь, на кожній ітерації уточнювалися зусилля в площадці контакту і знаходилися рішення для системи лінійних алгебраїчних рівнянь у матричній формі. Критерієм збіжності являлася умова мінімального взаємного проникнення об'єктів.

Результатами розрахунку контактної взаємодії пари «канатний блок – канат» є переміщення, напруження і деформації, які виникають у об'ємних елементах, взаємне проникнення і стан контактних елементів в контактній області.

Аналіз напружено-деформованого стану показує, що максимальне еквівалентне напруження виникає не на поверхні робочого профілю канатного блоку, а в районі галтельного переходу під маточину блоку і досягає значення 450 МПа (рис. 3).

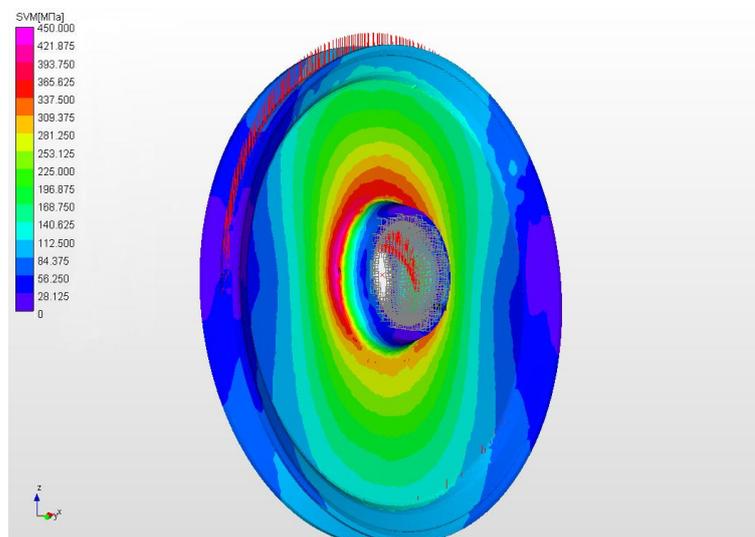


Рис. 3. Розподілення еквівалентних напружень за Мезісом

Слід зазначити, що максимальне нормальне напруження по вісі Y локальної системи координат досягне свого максимуму в 226 МПа на тороїдальній і конічних частинах робочого профілю канатного блоку (рис.

4). Розподілення дотичних напружень у площадці з нормаллю Y і у напрямку Z системи координат приведені на рис. 5.

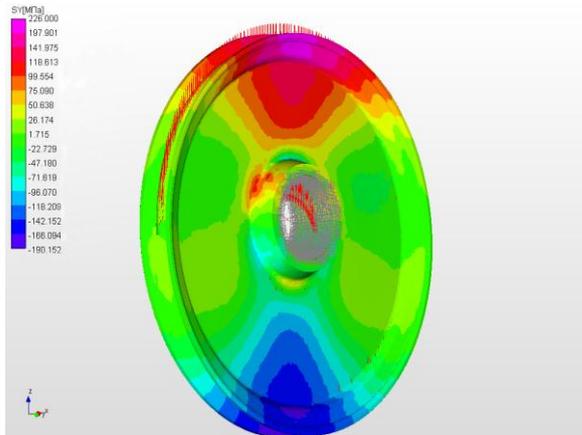


Рис. 4. Розподілення нормальних напружень просторової моделі

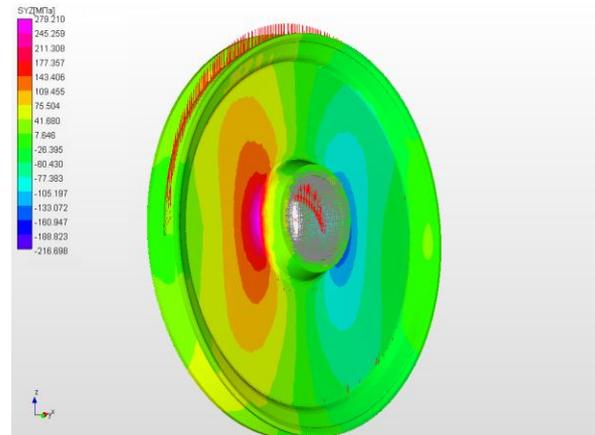


Рис. 5. Розподілення дотичних напружень просторової моделі

Ізополя напружень, представлені на рис. 4 і рис. 5, відповідають випадку робочого режиму пари «канатний блок – канат», коли півколо кочення канату котиться по середній лінії робочого профілю канатного блоку. При даному режимі роботи простежується мінімальний рівень інтенсивності робочих напружень, а також мінімальний рівень поперечних навантажень. Змінюючи відносне положення канату і канатного блоку в невеликих значеннях, яке відбувається через динамічні навантаження, призводить до виникнення суттєвих повздовжніх навантажень, а також виникнення збільшеної області контакту. В цьому випадку контакту виникають зони з підвищеним значенням напружень і суттєве відносне проковзування, що призводить до виникнення зон пластичності і швидкого зносу робочого профілю канатного блоку. В процесі строгування досягаються більш високі напруження, ніж при встановленому коченні, що необхідно враховувати при розрахунках на міцність і оцінці строку служби канатних блоків.

Максимальні відносні деформації, як пружні, так і пластичні виникають на робочій поверхні профілю блоку під час роботи у парі з канатом і в районі галтельного переходу під маточину канатного блоку

(рис. 6). Максимальне значення сумарних лінійних переміщень буде складати 0,8041 мм (рис. 7).

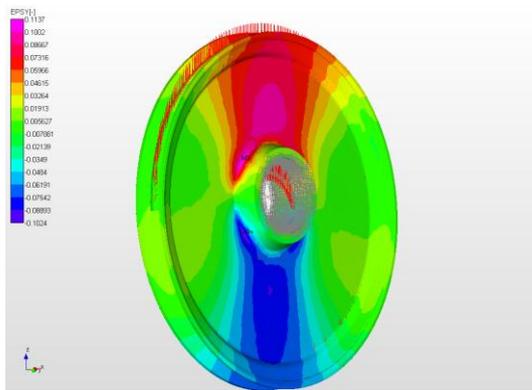


Рис. 6. Розподілення лінійних відносних деформацій просторової моделі

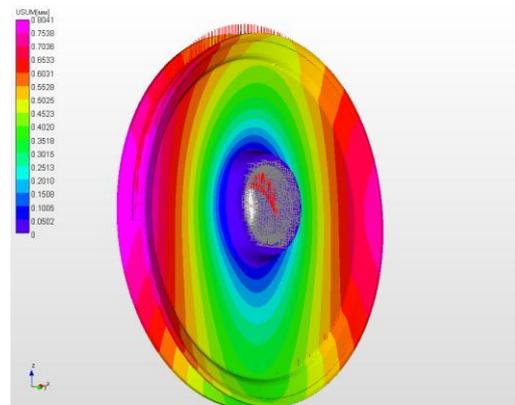


Рис. 7. Розподілення сумарних лінійних переміщень просторової моделі

Аналіз розподілення відносних деформацій канатного блоку у парі з канатом показує, що пластичні деформації являються суттєвим фактором, що необхідно враховувати при оцінці процесів накопичення трибопошкоджень на робочому профілі канатного блоку.

На основі результатів розрахунків просторової (трьохвимірної) моделі була сформована плоска (двовимірні) розрахункова модель, яка дозволила відстежити напрямок головних розтягувальних напружень, що виникають у канату в парі з канатним блоком, а також виконати уточнену перевірку аналітичного розрахунку контактної задачі. Для цієї мети був використаний прикладний проектно-розрахунковий комплекс SCAD Office.

Постпроцесорна обробка результатів кінцево-елементних розрахунків дозволяє легко отримати важливі характеристики рішення. Так на рис. 8, 9 отримані карти розподілення ізополів еквівалентних і нормальних напружень.

Аналіз форми і характеру зміни ізополів еквівалентних напружень, приведені до еквівалентного стискання по першій теорії міцності

найбільших нормальних напружень (рис. 8), з врахуванням місцезорозташування зони максимальних еквівалентних напружень показує, що в залежності від співвідношення діючих і граничних значень напружень може виникнути змінання робочої поверхні профілю канатного блоку, що контактує з канатом. У міру віддалення в осьовому напрямку від контактуючого торця поверхні канату згідно розташування ізоліній розподілення еквівалентних напружень по глибині канатного блоку найбільш ймовірним напрямком розвитку пошкоджень буде в районі галтельного переходу під маточину канатного блоку, при цьому максимальне значення функції накопичення трибопошкоджень буде виникати на поверхні робочого профілю канатного блоку і визначати

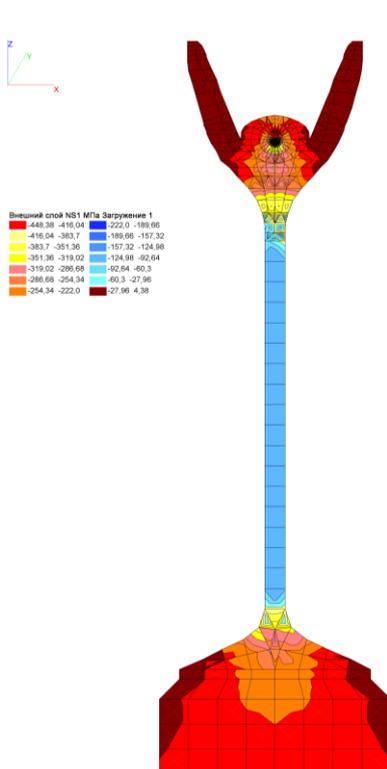


Рис. 8. Розподілення ізополів еквівалентних напружень плоскої моделі



Рис. 9. Розподілення ізополів нормальних напружень плоскої моделі

характер зношування. В процесі роботи пари «канатний блок – канат», внаслідок змінання, відбувається збільшення площадки контактної

взаємодії, що призводить до суттєвого зменшення абсолютних значень, як контактних тисків, так і еквівалентних напружень. При подальшому підвищенні навантаження утворюється більш менш суцільна пляма контакту, здатна сприймати навантаження без відчутних пластичних деформацій, середній тиск на цій плямі зростає і приводить в дію увесь механізм пружних мікропереміщень на поверхні стискання.

В результаті проведених досліджень і аналізу характеристик НДС пари «канатний блок – канат» з метою запобігання явища зношування як канату, так і робочого профілю канатного блоку, запропоновано конструкцію пристрою для підйомного канату, який дозволяє зменшити контактні напруження при роботі канатного блоку і канату та уникнути проковзування підйомного канату [12].

Слід також зазначити, що розподілення контактних напружень і деформацій, які являються головними факторами, що визначають характер і інтенсивність зношування пари «канатний блок – канат», буде залежати від якості, міцності і НДС металу поверхневих шарів [13]. Тому керування властивостями поверхневого шару за рахунок обкатування клиновим роликком робочого профілю канатного блоку можливо досягти підвищення контактної міцності і тим самим підвищити надійність і довговічність пари, вузла і машини в цілому [14].

Література

1. Пинегин С. В. О механизме качения при силовом контакте упругих тел / С. В. Пинегин // Труды. — М. : Ин-т машиноведения АН СССР, 1961. — 13 с. — (Совещание по контактной прочности машиностроительных материалов).
2. Пинегин С. В. Контактная прочность и сопротивление качению / С. В. Пинегин. — М. : Машиностроение, 1969. — 243 с.
3. Ковальский Б. С. Расчет деталей на местное сжатие / Б. С. Ковальский. — Харьков : ХВКИУ, 1967. — 224 с.

4. Erdonmez C. Modeling and numerical analysis of the wire strand / C. Erdonmez, C. Imrak // J. of Naval Science and Engineering. — 2009. — Vol. 5, №1. — P. 30—38.
5. Гетман И. П. О методах расчета канатов. Задача растяжения-кручения / И. П. Гетман, Ю. А. Устинов // Подъемные машины и механизмы. — 2008. — Т. 72, вып. 1. — С. 81—90.
6. Боровков А. И. Конечно-элементное вычисление эффективных механических характеристик стального каната на основе моделирования микроструктуры и множественного контактного взаимодействия / А. И. Боровков, Д. В. Климшин // Фундаментальные исследования в технических университетах. — Санкт – Петербург : СПбГПУ, 2005. — С. 232—233.
7. Кузьменко А. Г. Контакт, трение и износ смазанных поверхностей : монография / А. Г. Кузьменко, О. В. Диха. — Хмельницкий : ХНУ, 2007. — 344 с.
8. Сорокатый Р. В. Метод трибоэлементов : монография / Р. В. Сорокатый. — Хмельницкий : ХНУ, 2009. — 242 с.
9. Сорокатый Р. В. Решение износоконтактных задач методом трибоэлементов в среде конечно-элементного пакета ANSYS / Р. В. Сорокатый // Проблемы трибології. — Хмельницкий, 2007. — №3. — С. 9—17.
10. Замрий А. А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде APM Structure 3D / А. А. Замрий. — М. : АПМ, 2006. — 288 с.
11. APM WinMachine. Система расчета и проектирования деталей и конструкций методом конечных элементов. Версия 9.6. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. — Электрон. текстовые данные. — Режим доступа : <http://www.apm.ru>.

12. Пат. 66305 Україна, МПК В 66 D 3/04. Підйомний канат / О. П. Попов, Б. І. Бутаков, Д. Д. Марченко, О. І. Савенков ; заявник і власник Марченко Д. Д. – № u201108208 ; заявл. 30.06.2011 ; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24.

13. Бутаков Б. И. Основные принципы технологии импульсного и малоскоростного воздействия на структуру и свойства металлов и сплавов: дис. на соискание ученой степени доктора техн. наук: 05.02.01 / Бутаков Борис Иванович. — К., 1992. — 533 с.

14. Бутаков Б. И. Оптимизация параметров поверхностного упрочнения обкатыванием роликами канатных блоков с целью повышения их контактной прочности / Б. И. Бутаков, Д. Д. Марченко // Проблемы трибології. — Хмельницький, 2010. — № 3. — С. 99—107.

Моделирование контактного взаимодействия при работе стальных канатного блока и каната. Д.Д. Марченко

В статье приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния при работе стальных канатного блока и каната. С помощью конечно-элементного моделирования выполнено численное решение пространственной и плоско-напряженной контактной задачи при использовании прикладных программных комплексов APM WIN Machine и Structure CAD. Результаты анализа статической и динамической нагрузки пары показали, что максимальный уровень контактных напряжений (поля напряжений), а следовательно и наибольшая интенсивность трибоконтантного изнашивания, приходится на рабочий профиль канатного блока, а именно на тороидальные и конические поверхности за счет смятия канатом рабочей поверхности.

Simulation of contact interaction with the steel rope pulley and rope.
D.D. Marchenko

The paper presented the results of studies of the stress-strain state at work steel cable block and rope. Using finite element simulations performed

numerical solution of spatial and plane-hard contact problem using application software systems APM WIN Machine and Structure CAD. Analysis of static and dynamic loads couples showed that maximum contact stress (stress field), and therefore the greatest intensity tribological contact wear falls on your profile cable unit, namely the toroidal and conical surfaces by crushing rope surface.

УДК 621.314.82

**НАПРЯМ УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИХ
ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ОСНОВІ ПРОСТОРОВИХ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИСТЕМ**

О.О. Плахтир, кандидат технічних наук, доцент

О.В. Рябоконт, асистент

Миколаївський національний аграрний університет

В статті надано визначення напрямів і технічних рішень, а також постановка завдання удосконалення спеціальних трансформаторів перетворювального призначення.

Ключові слова: трансформаторний перетворювач, багатофазний перетворювач, електромагнітна система.

На даному етапі розвитку енергетики регульований колекторний електропривод постійного струму витісняється частотно-регульованим асинхронним і імпульсним електроприводами. Існуючі випрямно-перетворювальні агрегати електромеханічних систем регульованого електроприводу постійного і змінного струму та електротехнологічних процесів містять перетворювальні трансформатори стержневої планарної магнітної системи.

Особливістю перетворювальних трансформаторів являється регулювання напруги під навантаженням. Регулювання напруги на

первинній або вторинній стороні здійснюється як дискретно-контактним способом вбудованими механічними перемикачами із струмообмежувальними реакторами, так і плавно-ступінчасто і плавно додатковими автотрансформаторами і дроселями насичення, а в напівпровідникових випрямлячах - силовими транзисторами і тиристорами. Додаткові пристрої регулювання ускладнюють електромеханічні і електротехнологічні системи, а силові випрямлячі є основним джерелом вищих гармонік струму і напруги розподільних мереж.

Метою роботи є визначення напрямів і технічних рішень, а також постановка завдання удосконалення спеціальних трансформаторів перетворювального призначення (ПТ).

Підвищення технічного рівня ПТ шляхом виключення розділення і розщеплювання вторинних фаз можливо на основі конструкторсько-технологічних рішень симетричних просторових електромагнітних систем (ЕМС). Забезпечення компактності і зниження матеріаломісткості таких ЕМС може бути досягнуто використанням стержневих елементів з перерізом, утвореним середніми ділянками сторін трикутника [6] способами навивки стрічки або шихтовки ідентичних пластин у взаємно пересічних площинах [7]. У вказаних елементах можуть бути передбачені центральні отвори установки котушок обмотки регулювання напруги (при необхідності) поперечним підмагнічуванням [8].

Перетворення числа фаз первинної і вторинної обмоток в співвідношенні m_1/m_2 і підвищення використання об'єму активної частини (наближення S_m до P_n) ПТ на основі просторових ЕМС можливо трьома способами.

Перший спосіб полягає у використанні зрушення фаз магнітних потоків стрижнів і ярем тристрижневих просторових ЕМС на 30° і установки вторинних обмоток на ярмах при традиційному положенні первинної обмотки на стержнях [9, 10] (рис. 1, рис. 2).

Елементи стрижнів ПТ малої потужності і початкових габаритів середньої потужності можуть бути виконані витими розрізними (рис. 1, б). Кожне із складених ярем утворюється з двох витих тригранних контурів розділених проміжком. У ділянках проміжків ярем над центральною частиною стрижнів розташовані «лобові» ділянки котушок регулювання, а їх «пазові» частини встановлені в центральних отворах зв'язаних елементів стрижнів. У ділянках проміжків ярем між «лобовими» частинами котушок регулювання встановлюються додаткові (середні) елементи ярем у вигляді пакетів ідентичних прямокутних пластин.

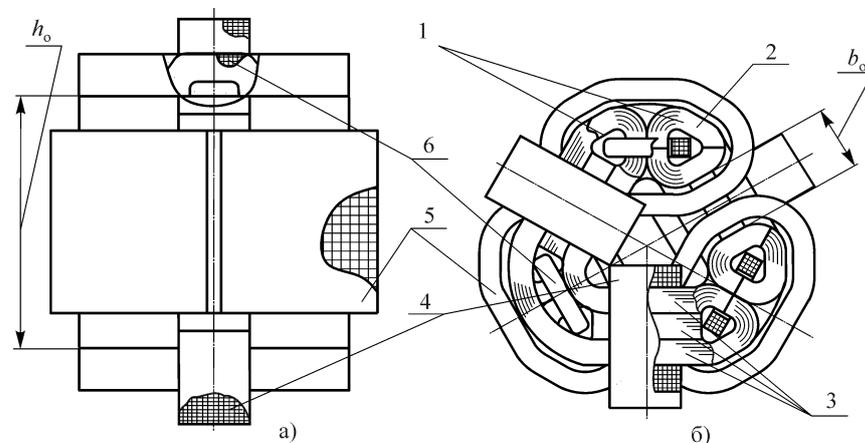


Рис. 1. Вигляд збоку(а) і вигляд зверху(б) активній частині трансформаторного перетворювача числа фаз з регулюванням напруги поперечним підмагнічуванням:

1 – стержень; 2 - елемент стержня; 3 - складене ярем; 4 - котушка обмотки навантаження; 5 - котушка мережевої обмотки; 6 - котушка обмотки управління

У регульованих статичних індукційних пристроях (СІП), зокрема потужних реакторах з поперечним підмагнічуванням, згідно [8], замість витих використовуються шихтовані стержні прямокутного перерізу з ділянками замикання потоку підмагнічування вздовж і поперек шарів стали, причому на зону стрижнів з немагнітними проміжками між шарами доводяться значні частини довжин силових ліній поля, що управляє. Рис. 2,

а характеризує елемент ЕМС схеми (рис. 1, а) для регульованого ПТ підвищеної потужності. У даній ЕМС стержні зібрані з ідентичних листів стали і згруповані в елементах з перерізом у вигляді паралелограма. Подібні елементи утворюють середні і периферійні ділянки перерізу стержня, а кутові зони з ізоляційними проміжками між листами скорочуються до 15...20 % довжини силових ліній поля управління.

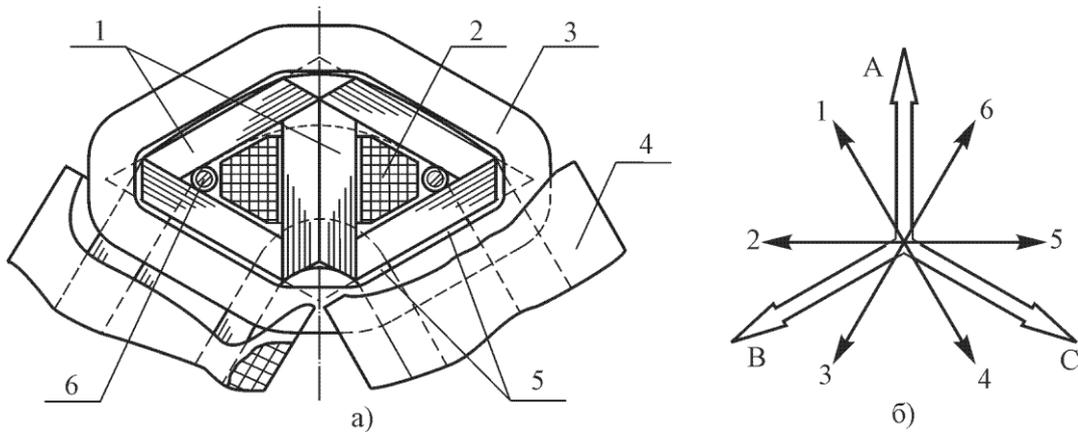


Рис. 2. Елемент активної частини (а) і векторна діаграма ЕРС (б) електромагнітної системи перетворення числа фаз з регулюванням напруги поперечним підмагнічуванням:

1 – елемент стержня; 2 - котушка обмотки управління; 3 - котушка мережевої обмотки; 4 - котушка обмотки навантаження; 5 - елементи ярма; 6 – шпилька

На рис. 2, б представлена векторна діаграма ЕРС первинних ($m_1 = 3$) і вторинних ($m_2 = 6$) фаз силових обмоток ЕМС (рис. 1, рис. 2, а). Вектори А, В, 3 відповідають фазним ЕРС первинної (мережевий) обмотки, а вектори 1, 3, 5 і 2, 4, 6 відображають фазні ЕРС вторинної обмотки з котушками, розташованими, відповідно на «верхньому» і «нижньому» ярмах.

Особливістю ЕМС з установкою фазних котушок на ярмах являється підвищений потік розсіяння, як наслідок, підвищене нахил зовнішньої характеристики і напруга короткого замикання ПТ [10]. Тому переважною сферою застосування вказаних ЕМС (рис. 1, рис. 2, а) являються електрозварювання ПТ.

Поперечне підмагнічування магнітопроводів досягається зрушенням осей (площин) котушок силових обмоток відносно осей котушок обмотки управління на кут $\pi/2$. При цьому в елементах магнітопровода діють дві ортогональні МРС обмоток робітників і управління. Перпендикулярність осей обмоток практично виключає взаємну індуктивність, проте за допомогою зміни стану феромагнетика під дією двох МРС забезпечується регулювання, практично за лінійним законом, головних індуктивностей і взаємноіндуктивності силових обмоток. Іншою перевагою поперечного підмагнічування є мала залежність втрат феромагнетика від інтенсивності поля управління [8].

Другий спосіб перетворення числа фаз в просторовій ЕМС полягає в установці між стержнями трьох фаз первинної (мережевий) обмотки додаткових (проміжних) стрижнів. Ідентичні котушки шести фаз вторинної (навантаженням) обмотки встановлюються симетрично по колу на трьох "проміжних" стержнях і трьох "мережевих" стержнях. Котушки первинної обмотки охоплюють котушки вторинної обмотки "мережевих" стрижнів (рис. 3, а). Ярма, як і стержні, виконані у вигляді пакетів, шихтованих з ідентичних пластин і забезпечують взаємний магнітний зв'язок суміжних пар стрижнів (рис. 3, а). У разі відсутності необхідності регулювання напруги ПТ підмагнічуванням постійним струмом використовується система замкнутих (кільцевими ярмами) стрижнів за типом (рис. 3, б). При цьому стержні виконуються з ідентичних пластин шихтованому взаємно пересічних площинах [7], а ярма виконуються витими. У подібних технічних рішеннях ЕМС ПТ магнітні потоки і ЕРС 1, 3, 5 котушок вторинних фаз "мережевих" стрижнів спрямовані зустрічно магнітним потокам і ЕРС 2, 4, 6 проміжних стрижнів (рис. 7, в), а магнітний потік розсіяння і відповідні індуктивності знижуються відносно ЕМС (рис. 1, а).

При установці на шихтованих елементах ярма (рис. 3, а) або ділянках ярма між стрижнями (рис. 3, б) додаткових котушок їх ЕРС спільно з ЕРС

стержневих котушок навантажень утворює (при $m_1=3$) $m_2=12$ - фазну систему.

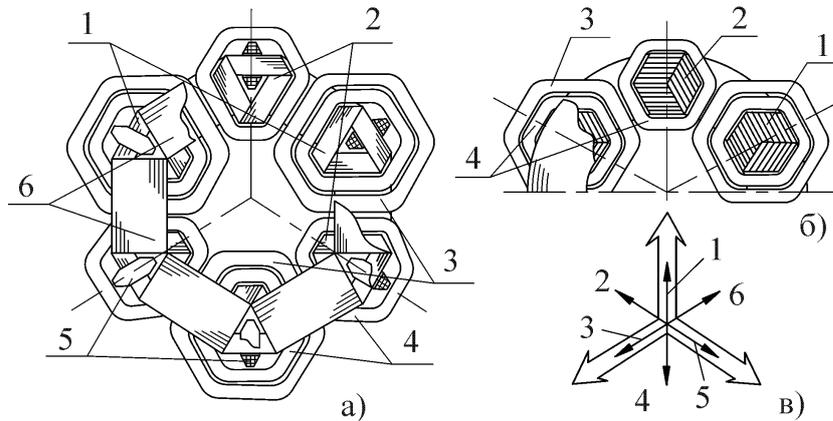


Рис. 3. Схеми (вигляд зверху) активної частини (а, б) і векторна діаграма фазних ЕРС (в) трансформаторного перетворювача числа фаз:

1 – мережевий стержень; 2 - проміжний стержень; 3 - котушка мережевої обмотки; 4 - котушка обмотки навантаження; 5 - котушка обмотки управління; 6 – ярмо

Третій спосіб перетворення числа фаз в просторовій ЕМС полягає у використанні магнітного поля, що обертається, і Z - стержневого аксіального магнітопровода (рис. 4, а) з витими ярмами. Полі з числом полюсів $2p = 2$ створюється первинними і індукованими вторинними струмами зосереджених котушок або розподілених котушкових груп мережевої і навантаження обмоток. Стержні можуть бути шихтованими (рис. 3, б) або виконаними способом [8] навивки і розрізання кільцевої заготівлі (рис. 4, б). Крім того, стержні можуть бути виконані способом [7] навивки і розрізання або опресовування еквідистантних кільцевих заготівель (рис. 4, в), а також способом [10] штампування виїмок при намотуванні стрічкового сердечника.

При установці на стержні ЕМС (рис. 4, а) котушок мережевої обмотки з $p = 1$, $m_1 = 3$ і $q_1 = 2$, котушки обмотки навантаження можна включити за схемою з $p = 1$, $m_2 = 2$ і $q_2 = 3$ ($Z = 2pm_1q_1 = 2pm_2q_2 = 12$) і отримати перетворення числа фаз $m_1/m_2 = 3/2$. Вказаний ПТ відрізняється

незалежною від навантаження або наявності нульового дроту повною практичною симетрією ЕДС фаз первинних і вторинних обмоток, що є дуже значимою перевагою в порівнянні з варіантами планарних ЕМС перетворення числа фаз $m_1/m_2 = 3/2$ які, згідно [4], представляють для мережі несиметричне навантаження.

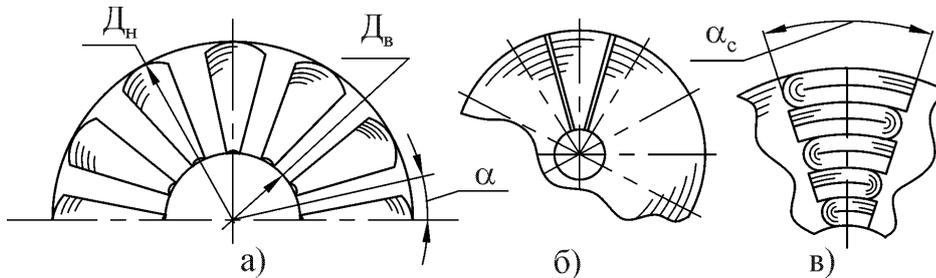


Рис. 4. Аксиальний стиковою магніто провід (а) із стержнями з витої розрізної заготівлі(б) або коаксіальних розрізних опресованих елементів (в)

При виборі варіанту конструктивно-технологічного рішення ЕМС (рис. 1 - рис. 4) необхідно враховувати як призначення і діапазон потужності, так і очікувані техніко-економічні показники. Рішення задачі підвищення технічного рівня ПТ і інших СІП можливо на основі системного порівняльного аналізу (структурній оптимізації) ЕМС.

Представлений в [8, 9] метод аналізу забезпечує можливість зіставлення ЕМС при використанні спеціальних цільових функцій і математичних моделей геометричної оптимізації, а також кількісних показників технічного рівня і допоміжних ознак досконалості конструкції магнітопровода. У вказаних моделях цільові функції відображаються твором двох співмножників. Перший співмножник є коефіцієнтом $k_{пд}$ початкових даних і електромагнітних навантажень. Другий співмножник представляє з себе відносний коефіцієнт $k_{цфi}$ зміни i - го показника технічного рівня від універсальних (для будь-якого варіанту симетричної просторовою аксіальною або радіальною ЕМС) геометричних керованих змінних:

$$F_{цф} = k_{пд}(S_H, U_1, U_2, B_c, f, j_{01}, j_{02}, k_{зо})k_{цфi}(\lambda_o, a_m, \alpha_c).$$

Коефіцієнт $k_{\text{пд}}$ відображає номінальну потужність $S_{\text{н}}$, первинну(вторинне) напругу $U_{1(2)}$, середню індукцію B_c стержня, щільність струму $j_{01(2)}$ первинної(вторинною) обмоток і коефіцієнт k_{30} заповнення обмотувального вікна матеріалом, що проводить. Як змінні прийняті: відношення λ_0 висоти h_0 і ширини b_0 обмотувального вікна (рис. 1), відношення a_m діаметрів $D_{\text{н}}$ і $D_{\text{в}}$ описаних контурних або фактичних кіл магнітопровода (рис. 4, а), а також центральний кут стержня α_c (рис. 4, в). Другий співмножник (коефіцієнт) $k_{\text{цф}i}$ забезпечує порівняльний аналіз і можливість безумовної геометричної оптимізації ЕМС, а також спільно з першим співмножником дозволяє виконати поетапну параметричну оптимізацію СІП.

Представляється, що зниження габаритних розмірів і маси СІП з регулюванням підмагнічуванням з перетворенням числа фаз, можливо на основі використання просторової структури АЧ в аксіальних ЕМС і магнітного поля, що обертається.

Для вибору варіанту ЕМС спеціального (зварювального або перетворювального багатофазного трансформатора потрібний комплекс досліджень на основі методу коефіцієнта початкових даних і відносних коефіцієнтів структурно-геометричної оптимізації [10].

Література

1. Фишлер Я.Л. Преобразовательные трансформаторы/ Я.Л. Фишлер, Р.Н. Урманов – М.: Энергия, 1974. – 224 с.
2. Волков И.В. Пути улучшения качества электроэнергии в корабельных и береговых электрических сетях и электроустановках/ И.В. Волков, И.В. Пентегов, Б.Б. Ларченко // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК. – 2004. – №3(396). – с. 60 – 70.
3. Хворост Н.В. Сравнительный анализ спектральных и коммутационных характеристик двухфазной и трехфазной схемы частотно-регулируемого электропривода / Н.В. Хворост, В.В. Чумак, Ю.П. Гончаров и др. // Весник

НТУ "ХП" "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика", вып. 10, т. 2. – Харьков: 2003. – с. 460 – 464.

4. Пентегов И.В. Новые конструкции трехфазно-двухфазных трансформаторов/ И.В. Пентегов, С.В. Рымар, А.В. Лавренюк// Электротехніка і електромеханіка. – 2004. – №3. – с. 49 – 55.

5. Григораш О.В. К вопросу применения трансформаторов с вращающимся магнитным полем в составе преобразователей электроэнергии/ О.В. Григораш, Ю.А. Кабанков // Электротехника. – 2002. – №3. с. 22 – 26.

6. Просторова магнітна система: Патент 52271. Україна, МКВ H01F 27/28, H01F27/24 / А.А. Ставинський, О.О. Плахтир, Р.А. Ставинський (Україна). – №2002042582; Заявл. 02.04.02; Опубл. 17.01.05, Бюл. №1. – 3 с.

7. Просторова магнітна система: Патент 51438. Україна, МКВ H01F 27/24, H01F 27/28 / А.А. Ставинський, О.О. Плахтир, Р.А. Ставинський (Україна). – №2002042584; Заявл. 02.04.2002; Опубл. 15.02.05, Бюл. №2. – 3 с.

8. Дорожко Л.И. Реакторы с поперечным подмагничиванием/ Л.И. Дорожко, М.С. Либкинд – М.: Энергия, 1977. – 176 с.

9. Козлов М.И. Трехфазные трансформаторы с пространственным сердечником и разнесенными обмотками / М.И. Козлов, В.Л. Гершенкрой, Н.И. Гордиенко и др. // Электричество. – 1986. – №4. – с. 54 – 55.

10. Stavinsky A. Increase of limited power and structural optimization of static induction devices with spatial magnetic cores/ A. Stavinsky, O. Plakhtyr, R. Stavinsky // Proceedings of the 6-th international conference UEES'04 on unconventional electromechanical and electrical systems 24–29 September, 2004, Alushta, Ukraine, Vol. 2, Poland: Szczecin. – 2004, pp. 411–414.

Направление совершенствования преобразовательных трансформаторов на основе пространственных электромагнитных систем. О.О. Плахтырь, А.В. Рябоконт

В статье дано определение направлений и технических решений, а также постановка задачи усовершенствования специальных трансформаторов преобразовательного назначения.

The direction of improvement of converting transformers on the basis of spatial electromagnetic systems. O.O. Plakhtyr, A.V. Ryabokon

The definition of directions and technical solutions, as well as the formulation enhancements of converting transformers of special purpose are given in the article.

УДК 621.891

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТРІБОТЕХНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПОВЕРХНЯХ
ТЕРТЯ ТРІБОСИСТЕМ ЕКСТРУДЕРА ЕВ-350 ТА ЕВ-350М**

В.А. Войтов, доктор технічних наук, професор

Б.М. Цимбал, аспірант

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

В статті приведені результати дослідження мікроаналізу хімічного складу корозійних плівок поверхонь тертя трібосистем екструдера ЕВ-350 та ЕВ-350М. Досліджено характер протікання корозійних процесів на поверхнях тертя, при використанні різних середовищ. Встановлено, що відбувається складний процес корозійного зношування з перерозподілом елементів по глибині від поверхні.

Ключові слова: трібосистема, хімічний мікроаналіз, корозійне зношування, корозійні плівки, окисли, середовище.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. В Україні та у Європі

виробництво твердого палива з рослинної сировини, яка є відновлювальним джерелом енергії, є перспективним напрямком.

Для виробництва твердого палива використовуються рослинні відходи сільськогосподарського та лісового виробництва. До таких відходів можливо віднести: соломку, лушпиння соняшнику, рису, гречки, кострицю прядильних культур, не кормові відходи елеваторного виробництва, стебла кукурудзи та соняшнику, деревинні відходи. З цієї сировини отримують тверде паливо шляхом пресування пресом. В зв'язку з тим, що рослинна сировина у своєму вмісті має значний рівень абразивності та кислотності, який призводить до корозійно-абразивного зношування шнека та філь'єр екструдера, зменшення ресурсу шнека та філь'єр, терміну експлуатації екструдера, збільшенню витрат на виробництво твердого палива, підвищення зносостійкості екструдерів для виробництва твердого палива з рослинної сировини є актуальним завданням. Тому дослідження тріботехнічних процесів на поверхнях тертя трібосистем екструдера EB-350 та EB-350м є актуальним.

Дослідження виконувались у рамках «Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2016 роки», затвердженою постановою Кабінету Міністрів України №243, від 1 березня 2010 р.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При виготовленні паливних брикетів утворюються такі хімічні сполуки, як акролеїн, діоксид азоту, діоксид вуглецю, діоксид кремнію та лігнін, внаслідок адсорбції, хемосорбції і дифузії атомів, змінюють хімічний склад поверхні робочих органів [1]. Під дією високої температури, звільненої вологи та слабкокислого середовищу біомаси, відбувається хімічна реакція з поверхнею металу, яка провокує корозійно-механічне зношування [2]. Внаслідок цього виникають нові вторинні структури, товщина яких коливається в межах 0,05-0,1 мкм [3, 4].

Хімічний опір корозії матеріалів описано авторами роботи [5-7]. Трібоккорозія при фрикційному контакті з деревиною досліджена автором роботи [8].

Мета досліджень – за допомогою мікроаналізу підтвердити характер протікання корозійних процесів на поверхнях тертя, при використанні різних середовищ, дослідити хімічний склад продуктів корозії та корозійних плівок, які утворюються на поверхнях модельних трібосистем.

Викладення основного матеріалу. Хімічний склад матеріалів, з яких були виготовлені моделі трібосистем, представлено в табл. 1 – 2.

Під час випробувань на поверхні матеріалів моделей трібосистем знаходиться шар окислів, який утворився при взаємодії металу з киснем повітря. Цей тонкий шар міцно зв'язаний з поверхнею трібоелементу та повторює його топографію. При цьому окисна плівка утворюється з оксидів металів, які входять до сплаву, а саме: закису заліза FeO, закису окису заліза Fe₃O₂, оксиду заліза Fe₂O₃, оксиду хрому Cr₂O₃ (при вмісті більш 12%), окис міді CuO [9], що підтверджується результатами хімічного мікроаналізу поверхонь тертя базового чавуна ЧХ22Н2 та представлено в таблиці 3 – 6. Так з таблиці 3 видно, що під час процесу зношування на поверхнях тертя збільшується атомний вміст кисню в 6,87 раз, кремнію 7,87 раз, а зменшується – заліза в 6,65 раз, нікелю в 21,4 рази, хрому в 2,32 рази, тобто відбувається складний процес корозійного зношування з перерозподілом елементів по глибині від поверхні.

Таблиця 1

Хімічний склад сталевих трібоелементів

Марка сталі	Масова доля, %								
	C	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Cu	Si
95X18	0,9	0,8	0	0,025	0,03	17	0,2	0,3	0,6
40X	0,36	0	0,3	0,035	0,035	0,8	0	0,3	0,17

Таблиця 2

Хімічний склад чавунних трібоелементів

Марка чавуна	Масова доля, %								
	C	Si	Mn	F	S	Cr	V	Ti	Ni
			не більш						
ЧХ22Н2	2,4	0,2	1,5	0,10	0,08	19,0	0,15	0,15	1,5
ЧХ32	1,6	1,5	1,0	0,10	0,08	30,0	0	0,1	0

Таблиця 3

Хімічний склад поверхні тертя чавуна ЧХ22Н2 при рН 5 та абразивності 10%

Елемент												
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Na	Cl	K	Ca	Ti
Ваг., %	2,89	0,09	1,54	1,96	1,54	72,31	2,14	-	-	-	-	-
Ато м., %	9,17	0,09	2,77	1,91	2,77	65,62	1,85	-	-	-	-	-
Ваг., %	42,27	0,27	25,66	1,67	0,18	27,17	-	1,79	0,22	0,70	0,08	-
Ато м., %	63,04	0,23	21,79	0,77	0,18	11,61	-	1,86	0,15	0,43	0,05	-

Хімічний склад поверхні тертя чавуна ЧХ32 при рН 5 та
абразивності 10%

Елемент									
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Na	Cl	Ti
Ваг., %	7,93	-	2,52	20,69	0,25	68,35	0,26	-	-
Атом., %	22,29	-	4,03	17,90	0,20	55,06	0,52	-	-
Ваг., %	39,15	0,43	17,75	9,83	0,14	32,26	0,33	0,11	-
Атом., %	63,04	0,42	16,28	4,87	0,06	14,88	0,37	0,08	-

Такий процес, але з меншою інтенсивністю відбувається і на поверхні чавуна ЧХ32, зменшується атомний вміст заліза в 3,7 рази, хрому в 1,43 рази та збільшується – кисню в 2,82 рази, кремнію в 4,4 рази згідно таблиці 4.

Виходячи з таблиці 5, на поверхні сталі 40Х відбуваються ідентичні процеси, зменшується атомний вміст хрому в 3,17 рази, заліза – 5,83 рази та збільшується – кисню в 4,87 рази, кремнію в 23,67 рази. На поверхні сталі 95Х18 відбувається менш інтенсивно зменшення атомного вмісту хрому в 1,68 рази, заліза в 2,98 рази та збільшення – кисню в 3,95 рази, кремнію в 7,33 рази, відповідно до таблиці 6.

Окиси мають відмінні властивості від металевої основи. При нормальній температурі окислення вони мають високу твердість, опір стисненню, але є крихкими, та мають менший коефіцієнт лінійного розширення, ніж сам метал. Окисні плівки здатні пасивувати та захищати поверхні елементів трібосистем від корозійного руйнування [9].

При контакті елементів трібосистеми у слабкокислому середовищі при рН 5, без абразиву та з абразивом, в результаті складного комплексу хімічних та механічних впливів, захисна плівка руйнується, що обумовлює процес зношування. Вода потрапляючи на поверхню трібоелементу активно адсорбується поверхневими шарами сплаву. В водному розчині

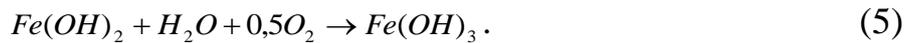
містяться іони H^+ та OH^- , як продукти часткового розпаду води, а також певна кількість кисню. Корозійний процес можливо виразити за допомогою анодної та катодної реакції, з водневою та кисневою деполяризацією відповідно:



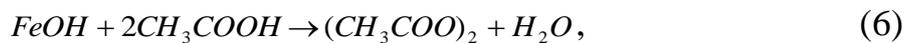
Остаточна реакція має вид:



Гідратований оксид заліза утворює на поверхні трибоелементу дифузійно-бар'єрний підшар, крізь який дифундує кисень. На зовнішній поверхні оксидної плівки, доступної розчинному кисню, гідроксид заліза (II) дифундує в гідроксид заліза (III):



Плівки іржі, які складаються з шарів гідратованих оксидів заліза, легко видаляються під час тертя трибоелементів. Цей процес посилюється корозійною дією оцтової кислоти, яка активно взаємодіє з оксидною плівкою на поверхні трибоелементу, розчиняючи її. Реакція оцтової кислоти з вюститом та магнетитом має наступний вигляд:



Крім того ці реакції швидше протікають в кислому середовищі, ніж в лужному та нейтральному. Ріст швидкості корозійних процесів металу по мірі зменшення рН обумовлено не тільки збільшенням швидкості виділення водню, але й легким доступом кисню до поверхні трибоелементів внаслідок розчинення поверхневого оксиду та відповідно підвищеною кисневою деполяризацією [10].

Хімічний склад поверхні тертя сталі 40X при рН 5 та абразивності 10%

Елемент							
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Mg
Ваг., %	3,93	-	0,64	0,94	0,51	93,98	-
Атом., %	12,41	-	1,16	0,91	0,47	85,06	-
Ваг., %	49,93	8,30	15,94	0,46	0,09	10,62	14,67
Атом., %	65,02	6,41	11,82	0,19	0,03	3,96	12,57

При контакті елементів трібосистеми у слаболужному середовищі при рН 8, без абразиву та з абразивом, відбуваються практично такі самі процеси, як у слабокислому середовищі при рН 5, окрім реакції оцтової кислоти з оксидами заліза. Корозійний процес протікає за допомогою анодної та катодної реакції, з водневою та кисневою деполяризацією. На зовнішній поверхні оксидної плівки, доступної розчинному кисню, гідроксид залізі (II) дифундує в гідроксид заліза (III), який захищає поверхню трібоелементу від корозії. Хром та титан не кородує при контакті з не концентрованим розчином гідроксиду натрію, а мідь та нікель утворюють мікрояви корозії [10].

Хімічний мікроаналіз поверхонь тертя сталей та чавунів представлено в таблиці 7 – 10. Виходячи з таблиці 7, на поверхні тертя сталі 40X відбуваються ідентичні процеси, але з меншою інтенсивністю ніж при рН 5 та рН 11, зменшується атомний вміст хрому в 1,89 рази, заліза – 1,36 рази та збільшується – кисню 2,33 рази, кремнію в 1,38 рази. На поверхні тертя сталі 95X18 відбувається менш інтенсивно зменшення атомного вмісту хрому в 2,04 рази, заліза в 1,88 рази та збільшення – кисню на 8,71%, кремнію в 9,76 рази, відповідно до таблиці 10.

Таблиця 6

Хімічний склад поверхні тертя сталі 95X18 при рН 5 та абразивності 10%

Елемент												
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	K	Na	Cl	V	Ti	Ca
Ваг., %	26,5	0,4	14,2	14,0	0,2	43,4	0,1	0,7	0,0	-	-	0,1
	2	9	2	3	1	4	8	2	7			1
Атом., %	50,6	0,5	15,4	8,24	0,1	23,7	0,1	0,9	0,0	-	-	0,0
	2	6	6		2	6	4	5	6			8
Ваг., %	2,70	-	0,55	37,8	0,4	58,2	-	-	-	0,1	-	-
				7	9	6				2		
Атом., %	8,56	-	1,00	36,9	0,4	52,9	-	-	-	0,1	-	-
				4	6	2				2		

З таблиці 9 видно, що на поверхні тертя чавуна ЧХ22Н2 збільшується атомний вміст кисню в 3,04 раз, кремнію 7,75 раз, а зменшується – заліза в 45,25 раз, хрому в 28,36 рази, тобто повільно відбувається процес корозійно-абразивне зношування.

Таблиця 7

Хімічний склад поверхні тертя сталі 40Х при рН 8 та абразивності 10%

Елемент										
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	K	Na	Ti	Ca
Ваг., %	3,69	-	0,40	0,83	0,5	93,8	-	0,86	-	-
					2	0				
Атом., %	11,6	-	0,72	0,80	0,4	84,5	-	1,89	-	-
	2				8	0				
Ваг., %	8,60	0,3	9,92	0,75	0,5	68,8	1,34	7,75	-	0,97
		3			2	7				
Атом., %	20,7	0,4	13,6	0,55	0,3	47,7	1,33	13,0	-	0,93
	9	7	6		7	0		4		

Такий процес, але з меншою інтенсивністю відбувається і на поверхні тертя чавуна ЧХ32. Зменшується атомний вміст хрому в 1,25 рази, заліза в 3,09 рази та збільшення – кисню на 34,29%, кремнію в 50,67 рази згідно таблиці 10.

Таблиця 8

Хімічний склад поверхні тертя сталі 95Х18 при рН 8 та абразивності 10%

Елемент								
Вид аналізу	О	Al	Ti	Si	Cr	Mn	Fe	Cl
Ваг., %	26,82	0,30	-	10,74	9,34	-	42,27	10,53
Атом., %	50,74	0,34	-	11,58	5,44	-	22,91	8,99
Ваг., %	3,20	-	-	1,10	15,40	0,39	79,62	-
Атом., %	10,14	-	-	1,98	15,01	0,36	72,26	-

Таблиця 9

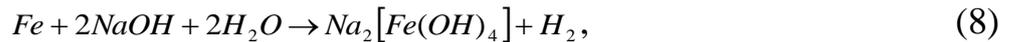
Хімічний склад поверхні тертя чавуну ЧХ22Н2 при рН 8 та абразивності 10%

Елемент												
Вид аналізу	О	Al	Si	Cr	Mn	Fe	К	Ni	Cl	Na	Ca	Ti
Ваг., %	17,88	6,51	5,65	10,21	0,87	56,11	0,12	1,51	0,76	6,51	0,10	-
Ат., %	38,77	9,82	6,98	6,81	0,55	34,86	0,11	0,89	0,74	9,82	0,08	-
Ваг., %	54,34	-	43,83	0,36	-	1,24	-	-	-	0,23	-	-
Ат., %	67,98	-	31,24	0,14	-	0,44	-	-	-	0,20	-	-

Хімічний склад поверхні тертя чавуну ЧХ32 при рН 8 та абразивності 10%

Елемент												
Вид аналізу	О	Al	Si	Cr	Mn	Fe	К	Ni	Cl	Na	Ca	Ti
Ваг., %	-	-	0,42	8,05	-	90,81	-	0,72	-	-	-	-
Ат., %	-	-	0,82	8,56	-	89,93	-	0,68	-	-	-	-
Ваг., %	25,87	0,78	20,38	10,07	0,29	29,39	0,18	-	0,31	3,08	0,23	-
Ат., %	43,25	0,77	19,41	5,18	0,14	14,08	0,12	-	0,24	3,58	0,16	-

При контакті елементів трібосистеми у сильнолужному середовищі при рН 11, без абразиву та з абразивом, відбуваються практично такі самі процеси, як у слаболужному середовищі при рН 8, окрім того що відбувається розчинення оксидних плівок гідроксиду заліза з утворенням солі тетрагідроксоферрата (III) натрія та тетрагідроксоферрата (II) натрія:



З титаном відбуваються аналогічні процеси з утворенням титанатів, солей титанової кислоти, амфотерного гідроксиду титану. Розчин гідроксиду натрію сприяє появі корозійного розтріскування у зв'язку з наявністю внутрішніх напружень [11].

Таблиця 11

Хімічний склад поверхні тертя сталі 95X18 при рН 11 та абразивності 10%

Елемент									
Вид аналізу	O	Si	Cr	Mn	Fe	K	Na	Cl	Ti
Ваг., %	7,23	2,01	18,15	0,42	71,12	-	0,62	0,18	-
Атом., %	20,64	3,27	15,96	0,35	58,13	-	1,24	0,23	-
Ваг., %	35,57	0,12	1,96	-	58,70	-	-	3,65	-
Атом., %	65,03	0,12	1,11	-	30,74	-	-	3,01	-

Таблиця 12

Хімічний склад поверхні тертя сталі 40X при рН 11 та абразивності 10%

Елемент											
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	K	Na	Cl	Ni	Ti
Ваг., %	-	-	1,29	0,83	0,25	95,27	-	1,04	0,60	0,71	-
Атом., %	-	-	2,48	0,87	0,25	92,37	-	2,46	0,92	0,65	-
Ваг., %	36,1 4	0,21	0,50	0,32	0,36	57,90	0,16	3,58	0,76	-	-
Атом., %	64,2 3	0,22	0,51	0,17	0,18	29,52	0,11	4,43	0,61	-	-

Хімічний склад поверхні тертя чавуну ЧХ22Н2 при рН 11 та абразивності 10%

Елемент												
Вид аналізу	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	K	Ni	Cl	Na	Ca	Ti
Ваг., %	5,14	-	0,55	33,95	1,36	57,83	-	1,16	-	-	-	-
Ат., %	15,49	-	0,95	31,48	1,19	49,93	-	0,96	-	-	-	-
Ваг., %	12,5	0,10	2,98	5,56	0,69	73,98	0,15	0,26	0,96	3,17	-	-
Ат., %	30,54	0,15	4,26	4,30	0,51	53,28	0,15	0,18	1,09	5,54	-	-

Хімічний мікроаналізу поверхонь тертя сталей та чавунів представлено в таблиці 11 – 14. Виходячи з таблиці 11, на поверхні сталі 40Х відбуваються ідентичні процеси, зменшується атомний вміст хрому в 4,86 рази, заліза – 3,13 рази та збільшується – кисню 64,23 раз, кремнію в 4,86 рази. На поверхні сталі 95Х18 відбувається менш інтенсивно зменшення атомного вмісту хрому в 14,38 рази, заліза в 1,89 рази та збільшення – кисню в 3,15 рази, кремнію в 27,25 рази, відповідно до таблиці 12.

З таблиці 13 видно, що на поверхні тертя чавуну ЧХ22Н2 збільшується атомний вміст кисню в 1,97 раз, кремнію 4,48 раз, а зменшується – заліза в 1,07 раз, нікелю в 5,33 рази, хрому в 7,32 рази, тобто відбувається складний процес абразивно-корозійного зношування.

Хімічний склад поверхні тертя чавуну ЧХ32 при рН 11 та абразивності 10%

Елемент											
Вид ан.	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	K	Ni	Cl	Na	Ca
Ваг., %	7,03	-	2,89	22,45	0,46	66,47	-	0,33	-	0,36	-
Ат., %	20,04	-	4,69	19,68	0,39	54,25	-	0,25	-	0,70	-
Ваг., %	49,96	0,42	24,51	5,02	-	15,71	0,23	-	1,20	2,82	0,12
Ат., %	68,57	0,34	19,16	2,12	-	6,18	0,13	-	0,75	2,69	0,07

Такий процес, але з меншою інтенсивністю відбувається і на поверхні чавуну ЧХ32, зменшується атомний вміст заліза в 8,78 рази, хрому в 9,28 рази та збільшується – кисню в 3,42 рази, кремнію в 5,54 рази згідно таблиці 14.

Висновки. За допомогою мікроаналізу хімічного складу корозійних плівок поверхонь тертя трібосистем екструдера EB-350 та EB-350M, було встановлено, що відбувається складний процес корозійного зношування з перерозподілом елементів по глибині від поверхні.

Література

1. Ястреба С.П. Підвищення ефективності роботи і довговічності олійних пресів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук : спец. 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв» / С.П. Ястреба. – Київ, 2012. – 19 с.
2. Briquettes de biomasse de presse [Ressource électronique]: (Site Web) // Anyang Gemco Energy Machinery Co., Ltd. - Mode d'accès: WWW.URL: www.biodiesel-machine.com/fr/biomass-briquette-press.html. - Dernière visite: 2016. - Titre de l'écran.

3. Васильків В.В. Види зношення спіралей гвинтових робочих органів / В.В. Васильків, Д.Л. Радик // Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 100. – С. 197 – 202.
4. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. — К.: Техніка, 1970.— 120 с.
5. Zelinka, S. L.The effect of tannins and pH on the corrosion of steel in wood extracts./ S.L.Zelinka, D.S.Stone [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/maco.201005845>.
6. Килимник, А.Б. К392 Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии: учебное пособие / А.Б. Килимник, И.В. Гладышева. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 80 с.
7. Porankiewicz, B. Factors influencing steel tool wear when milling wood / B. Porankiewicz, J. Sandak, and C. Tanaka - Wood Science & Technology, 2005 - № 39(3), p.225-234.
8. Прозоров Я.С. Особенности водородного изнашивания деревообрабатывающего оборудования [Электронный ресурс]. - Режим доступа:http://www.science-bsea.bgita.ru/2011/mashin_2011_14/prozorov_osoben.htm.
9. Сорокин Г. М. Коррозионно-механическое изнашивание сталей и сплавов / Г. М. Сорокин, А. П. Ефремов, Л.С. Саакян. – М.: Нефть и газ, 2002 – 424 с.
10. Семёнова И. В. Коррозия и защита от коррозии / И. В. Семёнова, Г. М. Флорианович, А. В. Хорошилов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.
11. Рачев Х. Справочник по коррозии / Х. Рачев, С. Стефанова. – М.: Мир, 1982. – 520 с.

Исследование химического состава поверхностей трения трибосистем экструдера EB-350 и EB-350M. В.А. Войтов, Б.М. Цимбал

В статье приведены результаты исследования микроанализа химического состава коррозионных пленок поверхностей трения

трибосистем экструдера EB-350 и EB-350M. Исследован характер протекания коррозионных процессов на поверхностях трения, при использовании различных сред. Было установлено, что происходит сложный процесс коррозионного изнашивания с перераспределением элементов по глубине от поверхности.

The study of the chemical composition of the friction surfaces tribosystems extruder EB-350 and EB-350M. V.A. Voytov, B.M. Tsymbal

The results of the study of the chemical composition microanalysis corrosive films friction surfaces tribosystems extruder EB-350 and EB-350 m. The nature of corrosion processes on friction surfaces, using various media. It has been found that there is a complex process with redistribution corrosive wear elements in depth from the surface.

УДК 631.171

**РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ
ЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ЗБИРАННЯ ВРОЖАЮ З
ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ АГРОЛОГІСТИКИ**

О.І. Анікєєв, кандидат технічних наук, доцент

К.Г. Сировицький, кандидат технічних наук, доцент

А.Р. Коваль, магістрант

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

В статті приведено результати розробки алгоритмів процесу ефективної системи збирання врожаю з метою оптимізації потужності усіх ланок від збирання до розміщення зерна на зберігання. Наведені фактори, що впливають на потужність. Приведено оптимальну модель збирального комплексу. Враховано необхідні технологічні просторі,

синхронізація темпу збирання, транспортування та приймання на елеваторі, продуктивність впродовж всієї збиральної кампанії з розрахунку на кожну одиницю техніки.

Ключові слова: агрологістика, продуктивність, алгоритм, врожай, ефективність, система машин.

В сучасному сільському господарстві ринкова трансформація національної економіки обумовлює необхідність інтенсифікації агропромислового виробництва за рахунок стійкого розвитку і більш повного використання інструментарію логістичної науки [1].

Теоретичні та методичні основи функціонування агрологістики розглядалися в роботах багатьох вчених. Так, В. Нелеп присвятив свої дослідження оцінці експортних можливостей агропродовольчого комплексу України [2]. Н. Присяжнюк, П. Саблук та М. Кропивко обґрунтовують необхідність і визначають напрями поглиблення аграрної реформи [3]. Е.В. Шубравська, Н.А. Ринденко і Е. Прокопенко визначають перспективи модернізації аграрного сектора України [4; 5].

У той же час недостатньо освітленими залишаються проблеми впровадження та розвитку логістики, як елементу експлуатації машинно-тракторного парку агропромислових підприємств, що визначило необхідність подальших наукових досліджень в цьому напрямку.

На кафедрі «Оптимізація технологічних систем імені Т.П. Євсюкова» Навчально-наукового інституту механотроніки і систем менеджменту ХНТУСГ імені Петра Василенка було виконано дослідження з розробки агротехнологій блочно-варіантних систем для господарств різних технологічних рівнів, результати якого дозволили встановити сучасний стан технологічних процесів по основних сільськогосподарських культурах, в тому числі – кукурудзи на зерно [6]. По аналізу отриманих даних постала проблема у впровадженні в систему збирання врожаю кукурудзи на зерно елементів агрологістики.

Таблиця 1

Показники діяльності умовного господарства при збирання кукурудзи

Культура	кукурудза
Урожайність, т/га	10
Вологість, %	24
Забур'яненість	5
Потужність елеватору	
Приймання, т/год	100
Сушіння, т/доба (від 24% до 14%)	2000
Відстань від поля до елеватора, км	80
Площа поля кукурудзи, га	8000
Час збирання, робочих днів (календарних більше, залежно від погоди, але не більше 50)	40
Початок збирання	20.09
Потужність комбайну, га/год (без врахування простоїв на ремонт, перезміну, погоду)	5
Вантажопідйомність автомобіля, т	30
Час вивантаження автомобіля на елеваторі, год	1

Для вирішення поставленої задачі було взято умовне господарство з базовими умовами, представленими в табл. 1.

Визначення загального об'єму кукурудзи на зерно з усієї площі:

$$H_3 = H_2 * S_n, \text{ т}; \quad (1)$$

де H_2 – урожайність кукурудзи з одного гектара, т/га;

S_n – загальна площа поля, га.

$$H_3 = 10 \cdot 8000 = 80000 \text{ т};$$

Отже, необхідно зібрати 80000 тон кукурудзи на зерно за 40 робочих днів (максимум – 50). Кліматична зона Харківської області – степ.

При розрахунку оптимальної моделі послідовності збирання, транспортування, очищення від бур'яну, сушіння кукурудзи на зерно, необхідно розставити пріоритети у циклі взаємопов'язаних операцій, графічна модель послідовності якого представлена на рис. 1.

На нашу думку не можливо допустити того щоб на сушіння поступало більше 2000 тон кукурудзи за добу. Тобто сумарний виробіток кожної з ланок не повинен перевищувати 2000 тон за добу. Виробіток за добу елеватора більше виробітку сушіння, тому ця ланка буде виконувати роботу більш надійно у циклі взаємопов'язаних операцій. Для забезпечення системної цілісності збирально-транспортного комплексу і максимального завантаження роботи елеватора та сушарки у циклі

Необхідно визначитись з ланкою збирання зерна кукурудзи. Ця ланка є найбільш залежною від багатьох факторів які можуть змінити продуктивність, нажаль в бік зменшення. Це погодні умови, переїзди з поля на поле, простої на ремонт комбайнів. Продуктивність комбайну складає 5 га/год. При виконанні робіт у продовж року погодні умови призводять до зміни годинної продуктивності, які можливо враховувати коефіцієнтом погодності K_n , який для осінніх робіт складає $K_n = 0,7$ [7].

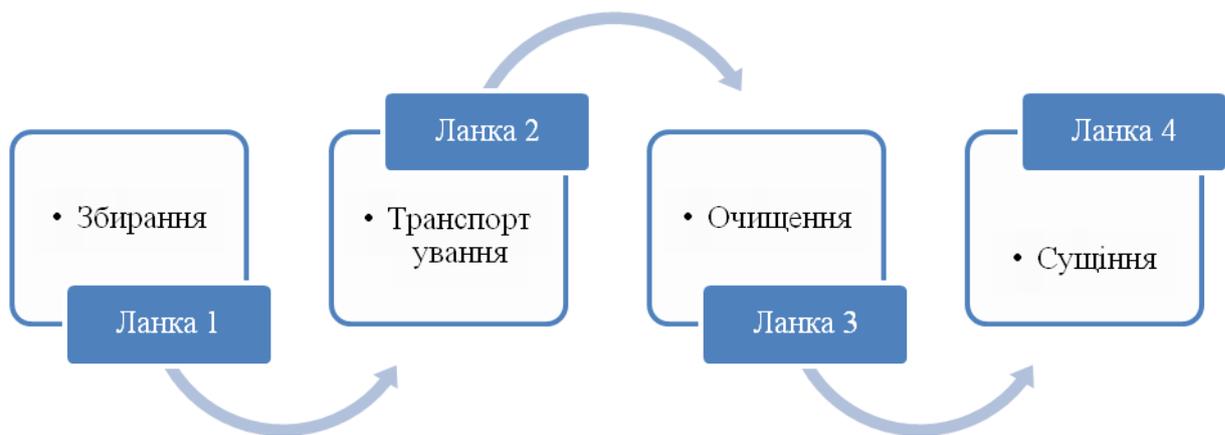


Рис. 1. Оптимальна модель послідовності взаємопов'язаних операцій

Необхідно виконати умову поточності технологічного процесу за рівнянням [8]:

$$W_{23} n_k H_3 = W_{тр.3} n_{тр.3} = W_{елев} = W_{суш} ,$$

де $W_{зз}$; $W_{тз}$; $W_{елев}$; $W_{суш}$ – відповідно виробіток комбайну за добу, т; виробіток транспортного засобу для відвезення зерна, т; виробіток елеватора, т; виробіток сушарки т;

n_k ; n_k – відповідно кількість комбайнів, транспортних засобів для відвезення зерна кукурудзи;

H_3 – врожайність кукурудзи на зерно т/га.

Для виконання збирання кукурудзи пропонуємо умовний зернозбиральний комбайн з ємністю бункера $12,0 \text{ м}^3$ та 12-рядною жнивваркою, з можливістю вивантаження зерна із бункера комбайна у причіп-перевантажувач на ходу. Перезміну комбайнери проводять під час прийняття їжі, зупиняючи комбайн на декілька хвилин.

Організація роботи комбайнів. Спосіб руху по полю – човниковий, з попереднім обкошуванням поворотних смуг. Для вивантаження зерна кукурудзи на полі використовуються умовні причепа-перевантажувачі [9] вантажністю 30 тон. Це дає можливість завантаження одного транспортного засобу на краю поля одразу. Робочій день агрегатів складає 14 годин, тобто у дві зміни. Час переїздів з поля на поле не враховується у час зміни.

Визначення продуктивності комбайну за годину змінного часу з урахуванням коефіцієнта погодності, га/год.:

$$W_{год.зм} = W_0 \cdot K_n, \quad (2)$$

де W_0 – продуктивність комбайну за годину змінного часу, га/год.;

K_n – коефіцієнт погодності; $K_n = 0,7$.

$$W_{год.зм} = 5 \cdot 0,7 = 3,5 \text{ га/год.};$$

Визначення продуктивності комбайну за годину змінного часу вираженої в тонах, т/год. [8]:

$$W_{зм} = W_{год.зм} \cdot H_3, \quad (3)$$

де H_3 – урожайність кукурудзи з 1 гектару, т; $H_3 = 10$.

$$W_{зм} = 3,5 \cdot 10 = 35 \text{ т/год.}$$

Для забезпечення намолоту зерна кукурудзи за добу усіма комбайнами у об'ємі до 2000 тон необхідно 41 робочій день.

Визначення необхідної кількості комбайнів:

$$n_a = \frac{W}{W_{\text{год.зм}} \cdot T_{p.d} \cdot D_p}, \quad (4)$$

де W – об'єм робіт, га;

$T_{p.d}$ – тривалість робочого дня, год; $T_{p.d} = 14$;

D_p – кількість робочих днів. $D_p = 41$.

$$n_a = \frac{8000}{3,5 \cdot 14 \cdot 41} = 3,98 \text{ шт.}$$

Для забезпечення необхідного виробітку ланки збирання приймаємо 4 комбайна. По розрахованим формулам (2...4) отримуємо, що кожний комбайн має продуктивність 3,5 га/год (35 т/год), що разом складає 196 га за добу (1960 т за добу). Продуктивність комбайнів за кожний день роботи представлена в таблиці 2.

Таблиця 2

Продуктивність агрегатів для збирання кукурудзи

Дні	Сумарна продуктивність комбайнів, га	Сумарна продуктивність комбайнів, т
1	196,00	1960,00
2	392,00	3920,00
.....		
40	7840,00	78400,00
41	8001,00	80010,00

Проаналізувавши дані таблиці 2 бачимо, що прийняті комбайни у кількості 4 шт. за добу намолочують 1960 т кукурудзи, що задовольняє умови задачі за критеріями пропускнуої здатності елеватора (сушіння – 2000 т/доба), тобто 98 %.

Для визначення кількості транспортних засобів для відвезення зерна кукурудзи від поля на елеватор визначаємо із умов потоковості виконання збирання та транспортування зерна за формулою:

$$W_{\text{тр.з}} n_{\text{тр.з}} = \frac{W_{\text{год.зм}} n_{\text{к}}}{H_{\text{к.з}}}, \quad (5)$$

Визначення продуктивності транспортного засобу:

$$W_{\text{тр.з}} = \frac{g_{\text{тз}}}{t_{\text{об.тз}}}, \quad (6)$$

де $g_{\text{тз}}$ – вантажність транспортного засобу, т;

$t_{\text{об.тз}}$ – час обороту транспортного засобу, год.

Час обороту транспортного засобу:

$$t_{\text{об.тз}} = \frac{S_{\text{з}}}{V_{\text{р.тз}}} + \frac{S_{\text{з}}}{V_{\text{х.тз}}} + t_{\text{нав}} + t_{\text{роз.тз}}, \quad (7)$$

де $S_{\text{з}}$ – відстань перевезення зерна, км;

$V_{\text{р.тз}}$ і $V_{\text{х.тз}}$ – швидкість руху транспортного засобу; $V_{\text{р.тз}} = 60$ км/год.,

$V_{\text{х.тз}} = 70$ км/год;

$t_{\text{нав}}$ – час навантаження транспортного засобу, $t_{\text{нав}}$, год. = 0,15;

$t_{\text{роз}}$ – середній час розвантаження транспортного засобу з урахуванням простоїв в черзі, $t_{\text{роз}}$, год. = 1.

$$t_{\text{об.тз}} = \frac{80}{60} + \frac{80}{70} + 0,15 + 1 = 3,63 \text{ год};$$

$$W_{\text{тр.з}} = \frac{30}{3,63} = 8,26 \text{ т.}$$

Визначення необхідної кількості транспортних засобів:

$$n_{\text{тр.з}} = \frac{W_{\text{тз}}}{W_{\text{тр.з}}} H_{\text{з}} n_{\text{к}}, \quad (8)$$

$$n_{\text{тр.з}} = \frac{3,5}{8,26} 10 \cdot 4 = 17 \text{ шт.}$$

Для забезпечення потоковості виконання процесу збирання кукурудзи на зерно необхідно 17 транспортних засобів.

Висновки.

1. Авторами розроблено методику вирішення задачі на базі MS Excel, яка дає можливість розраховувати продуктивність агрегатів в режимі

«експрес», враховуючи простої, поломки та метеорологічні умови максимально наближено до виробничих умов.

2. Розроблена методика дозволяє також побудувати графіки завантаження агрегатів на кожен день та сумарний графік за весь період, що дає можливість наглядно продемонструвати темп зміни виробітку машин, час простоїв та поломок.

3. Розроблений алгоритм дозволяє ввести умови для розрахунків та отримання додаткових даних, таких як витрата палива по кожному агрегату, затрати праці, затрати енергії, затрати коштів на виконання операцій, що дозволить своєчасно приймати обґрунтовані керувальні та інженерні рішення по використанню машино-тракторного парку господарства та полегшить роботу логістичного відділу.

Література

1. Гриценко С.И. Становление и развитие аграрной логистики в Украине / С.И. Гриценко // Научные труды ДонНТУ. Серия: экономическая. – 2014. – №5. с. 185-189.
2. Нелеп В. Оценка экспортных возможностей агропродовольственного комплекса Украины [Текст] / В. Нелеп // Экономика Украины. – 2011. – №9. – С. 54-63.
3. Присяжнюк Н. О необходимости и направлениях углубления аграрной реформы / Н. Присяжнюк, П. Саблук, М. Кропивко // Экономика Украины. – 2011. – №6. – С. 4-16.
4. Шубравская Е.В. Оптовые рынки сельскохозяйственной продукции: европейский опыт и украинские перспективы / Е.В. Шубравская, Н.А. Рынденко // Экономика Украины. – 2012. – №8. – С. 77-85.
5. Шубравская Е.В. Перспективы модернизации аграрного сектора Украины / Е.В. Шубравская, Е.А. Прокопенко // Экономика Украины. – 2013. – №8. – С. 64-76.

6. Харченко С.О., Анікєєв О.І., Циганенко М.О. та ін. Напрямок в розробці агротехнологій блочно-варіантних систем для господарств різних технологічних рівнів / С.О. Харченко, О.І. Анікєєв, М.О. Циганенко та ін. // Вісник ХНТУСГ «Механізація сільськогосподарського виробництва». Вип. 156. – 2015. с. 174-179.
7. Евсюков Т.П. Курсовое и дипломное проектирование по эксплуатации МТП / Т.П. Евсюков. - М. : Агропромиздат, 1985. - 143 с.
8. Довідник з машиновикористання в землеробстві / В.І. Пастухов, А.Г. Чигрин, П.А. Джолос та ін. За редакцією В.І. Пастухова. – Харків: ООО «Веста». - 2001. – 343 с.
9. Каталог сільськогосподарської техніки / Л.М. Тіщенко, В.І. Мельник, С.О. Харченко, О.І. Анікєєв та ін. За редакцією Л.М. Тіщенка та В.І. Мельника. – Харків: ХНТУСГ імені Петра Василенка. - 2015. – 450 с.

Разработка алгоритмов для обеспечения процессов эффективной системы сбора урожая с использованием элементов агрологистики. А.И. Аникеев, К.Г. Сыровицкий, А.Р. Коваль

В статье приведены результаты разработки алгоритмов процесса эффективной системы сбора урожая с целью оптимизации мощности всех звеньев от сбора до размещения зерна на хранение. Указаны факторы, влияющие на мощность. Приведена оптимальная модель уборочного комплекса. Учтены необходимые технологические простои, синхронизация темпа сбора, транспортировки и приема на элеваторе, производительность на протяжении всей уборочной кампании в расчете на каждую единицу техники.

Development of algorithms to implement the processes of effective harvesting system using agrologistics elements. A.I. Anikeev, K.G. Sirovitskiy, A.R. Koval

The results of algorithm development process of an effective system of harvest in order to optimize the power of all parts of the collection before

placing grain in storage. The indicated factors influencing power. The optimal model of harvesting complex. Takes into account the necessary technological downtime, synchronization gathering pace, transportation and admission to the elevator, the performance throughout the harvesting based on each piece of equipment.

УДК 664.644.4

**РЕГУЛЮВАННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ТІСТА**

О.М. Шаніна, доктор технічних наук, професор

С.М. Мінченко, аспірант

Т.В. Гавриш, кандидат технічних наук, доцент

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені П. Василенка

В статті приведені результати аналізу реологічних характеристик безглютенового тіста на основі рисового та кукурудзяного борошна при внесенні добавок з нетрадиційної борошняної сировини. Встановлено, що додавання борошна сорго, кіноа, сошника або льону сприяє зміцненню структури безглютенового тіста та покращує його структурно-механічні властивості. Визначено, що перелічені добавки є ефективними структуроутворювачами в технології безглютенового хліба.

Ключові слова: безглютеновий хліб, тісто, реологічні властивості, структуроутворювачі, борошно сорго, кіноа, льон, соняшник.

Сьогодні, збільшення числа випадків захворювань, пов'язаних з порушенням обміну речовин і виникненням алергій на компоненти харчових продуктів, спричинено спадковістю, погіршенням стану довкілля та нераціональним харчуванням. Особливо небезпечні та складні у

лікуванні порушення обміну білкових речовин, що проявляються у погіршенні функціонування органів травлення і нирок, розладах центральної нервової системи, затримці фізичного розвитку. Одним з таких захворювань є целиакія. Відомо, що целиакія – це метаболічна непереносимість організмом людини глютену. Вона є найбільш розповсюдженим аутоімунним захворюванням на протязі тривалого часу.

Єдиним ефективним способом лікування целиакії є повне виключення глютенівмісних продуктів (пшениці, жита, ячменю та вівса) з раціону хворих. Багато вчених у всьому світі працюють над розробкою безглютенових продуктів. Основними напрямками розробок є виключення або модифікація глютену з глютенівмісної сировини та повне виключення глютенівмісної сировини з рецептурних сумішей. Відносно першого напрямку, сьогодні проводять дослідження щодо селекції безглютенової пшениці, із застосуванням генної інженерії [1]. Але данні дослідження знаходяться на стадії розробки, тому другий напрямок рішення проблеми виробництва безглютенових продуктів є більш розповсюдженим. Згідно нього, зазвичай рекомендують змішувати різні види безглютенового борошна (в основному рисового, кукурудзяного, просяного та гречаного). Але основною проблемою таких технологій є забезпечення структури виробів, яку у звичайному пшеничному хлібі забезпечує саме глютен. У більшості випадків для рішення цієї задачі вчені пропонують застосовувати гідроколоїди (ксантан, камеді, модифіковані крохмалі тощо) [2-5] та закваски [6]. Усі перелічені добавки дозволяють імітувати структуру звичайного хліба, однак кінцеві продукти характеризуються низьким вмістом білка.

На нашу думку ефективними регуляторами структури тіста можуть стати різноманітні види високобілкового борошна. Це, насамперед, соняшникове борошно (~44% білка), лляне борошно (~32%), борошно амаранту або кіноа (~16%) та соргове борошно (~14%). Перевагами даної

сировини є вітчизняне походження, добрі смакові властивості та знижена вартість.

Для встановлення впливу обраних борошняних добавок на реологічні властивості тіста використовували еластопластометр Толстого. Високобілкове борошно вносили у кількості 10% до маси рисового борошна з метою оцінки ефективності дії кожної окремої добавки.

На рис. 1 приведено вплив нетрадиційних видів борошняної сировини на реологічні властивості безглютенового тіста на основі рисового борошна. На завантажувальній частині кривої можна виділити три ділянки – миттєво-пружну деформацію, високо-еластичну деформацію та ділянку течії системи. Можна відмітити, що всі види високобілкових борошняних добавок впливають на опірність тіста з рисового борошна та збільшують його міцність.

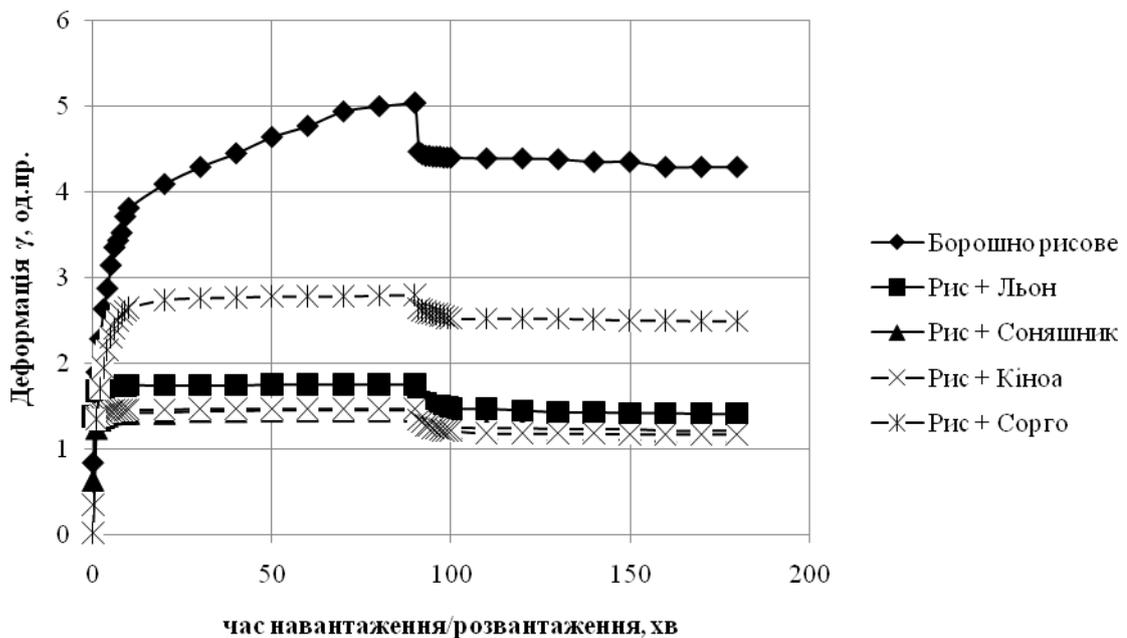


Рис. 1. Криві навантаження/розвантаження тіста на основі рисового борошна при додаванні нетрадиційної сировини

Ефективність дії льняного, соняшникового борошна та борошна кіноа суттєво не відрізняється.

В той час як внесення соргового борошна має дещо нижчий вплив на зниження незворотної відносної деформації.

Внесення лляного борошна сприяє збільшенню пластичності та еластичності тіста та зниженню пружності (табл. 1.). Такий результат може бути спричинений високим вмістом жиру в лляному борошні. Додавання інших добавок призводить до зниження відносної еластичності та пластичності при одночасному збільшенні пружності, що може бути пояснено високим вмістом волокон та високобілкових сполук.

Таблиця 1

Реологічні характеристики безглютенового тіста на основі рисового борошна при внесенні нетрадиційної сировини

Зразок	Відносна еластичність, $E_{\text{відн}}, \%$	Відносна пластичність, $ПЛ_{\text{відн}}, \%$	Відносна пружність, $ПР_{\text{відн}}, \%$
Борошно рисове	73,50	9,87	16,63
Рис + Льон	88,93	10,36	0,71
Рис + Соняшник	50,00	6,55	43,45
Рис + Кіноа	67,01	9,19	23,80
Рис + Сорго	18,12	3,48	48,41

Аналогічний комплекс досліджень було проведено для тіста на основі кукурудзяного борошна (рис. 2).

Отримані результати дослідження впливу добавок з нетрадиційної борошняної сировини на реологічні властивості кукурудзяного тіста показують схожу з рисовим тістом тенденцію. Внесення покращувачів в першу чергу суттєво впливає на зниження незворотної відносної деформації на 36...68%.

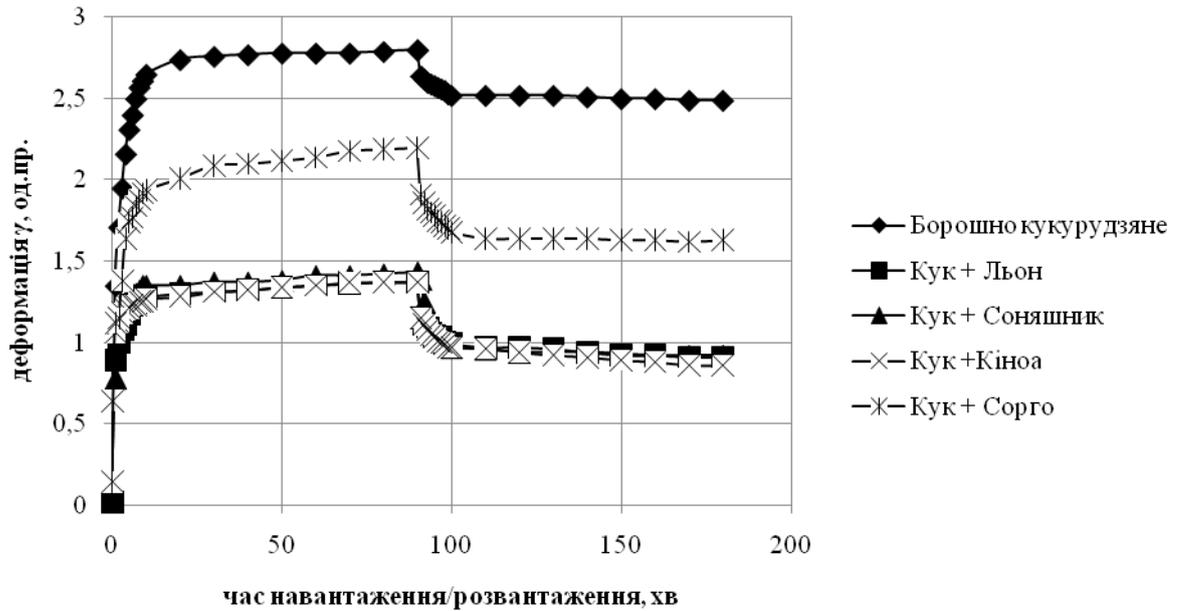


Рис. 2. Криві навантаження/розвантаження тіста на основі кукурудзяного борошна при додаванні нетрадиційної сировини.

Розрахунок реологічних характеристик тіста на основі кукурудзяного борошна наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Реологічні характеристики безглютенового тіста на основі кукурудзяного борошна при внесенні нетрадиційної сировини

Зразок	Відносна еластичність, $E_{\text{відн}}$, %	Відносна пластичність, $ПЛ_{\text{відн}}$, %	Відносна пружність, $ПР_{\text{відн}}$, %
Борошно кукурудзяне	88,92	10,36	0,71
Кук + Льон	66,42	32,12	1,46
Кук + Соняшник	64,33	30,07	5,60
Кук + Кіноа	70,01	23,28	6,71
Кук + Сорго	74,19	19,54	6,36

Результати експерименту свідчать, що внесення нетрадиційних видів борошняної сировини до кукурудзяного тіста в усіх випадках сприяє

підвищенню його пластичності. Така тенденція є позитивним результатом через значну крихкуватість кукурудзяного тіста. При цьому дещо знижується відносна еластичність – на 17...28% та збільшується відносна пружність у 2...6 разів.

Таким чином, проведені експериментальні дослідження вказують на суттєве покращення реологічних характеристик безглютенового тіста на основі рисового або кукурудзяного борошна при внесенні борошна сорго, лляного, кіноа чи соняшникового. Тому такі добавки можна вважати перспективними структуроутворювачами в технології безглютенового хліба.

Література

1. Aleksandra Torbica, Miroslav Hadnadev, Tamara Dapcevic – “Rheological, Textural and Sensory Properties of Gluten-Free Bread Formulations Based on Rice and Buckwheat Flour” *Food Hydrocolloids*, Vol. 24, Is. 6-7, Aug./Oct. 2010
2. Andreas Houben, Agnes Höchstötter, Thomas Becker – “Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview” *European Food Research and Technology*, Vol. 235, Is. 2, Aug. 2012
3. Carla Brites, Maria João Trigo, Carla Santos, Concha Collar, Cristina M. Rosell – “Maize-Based Gluten-Free Bread: Influence of Processing Parameters on Sensory and Instrumental Quality” *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 3, Is. 5, Oct. 2010
4. В. Дробот – “Исследование потребительских свойств безглютенового хлеба” *Техника и технология пищевых производств : VIII Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов*, Апр. 2011
5. A. Lazaridou, D. Duta, M. Papageorgiou, C. G. Biliaderis – “Effects of Hydrocolloids on Dough Rheology and Bread Quality Parameters in Gluten-Free Formulations” *Journal of Food Engineering*, Vol. 79, Is. 3, Apr. 2007

6. Tilman J. Schober, Manuela Messerschmidt, Scott R. Bean, Seok-Ho Park, Elke K. Arendt – “Gluten-Free Bread from Sorghum: Quality Differences Among Hybrids” Cereal Chemistry, Vol. 82, N. 4, Jul./Aug. 2005

Регулирование реологических свойств безглютенового теста.
О.Н. Шанина, С.Н. Минченко, Т.В. Гавриш

В статье приведены результаты анализа реологических характеристик безглютенового теста на основе рисовой и кукурузной муки при внесении добавок из нетрадиционного мучного сырья. Установлено, что добавление муки сорго, киноа, подсолнечника или льна способствует укреплению структуры безглютенового теста и улучшает его структурно-механические свойства. Определено, что перечисленные добавки являются эффективными структурообразователями в технологии безглютенового хлеба.

Regulation of rheological properties of gluten-free dough. O.M. Shanina, S.M. Minchenko, T.V. Gavrish

The results of the analysis of rheological characteristics of gluten-free dough on the basis of rice and corn flour with non-traditional flour raw-materials are shown in the article. It is found that adding of sorghum, quinoa, sunflower and flaxseed flour provides strengthening of dough structure and improves its structural and mechanical properties. It is determined that listed additives can be used as effective structure formers in gluten-free bread technology.

УДК 628.35; 62-62

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
БИОГАЗА В УКРАИНЕ**

А.А. Купин, студент группы П4

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка

В данной статье рассмотрено состояние развития биогазовых технологий в ЕС и в Украине за последнее время. Показан потенциал производства биогаза в Украине, раскрыта концепция производства биогаза в стране до 2030 года. Определены основные барьеры, сдерживающие производство биогаза в стране. Сделаны выводы относительно возможных путей преодоления существующих барьеров.

Ключевые слова: биогаз, биогазовые технологии, барьер, потенциал, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), «зеленый тариф» (ЗТ).

Сегодня возобновляемые источники энергии (ВИЭ) занимают значительную часть в энергобалансе большинства стран мира. Согласно данным Международного энергетического агентства 13,1% первичной энергии в мире в 2010 г. было получено из ВИЭ, значительную часть из которых составила биомасса – 9,9%. За период с 1991 г. потребление энергии из ВИЭ в ЕС удвоилось и составило в 2009 г. 153 млн. т н.э./год, или 9% общего энергопотребления ЕС. Энергия из биомассы составила 107,1 млн. т н.э. (70% от всех ВИЭ). Производство электроэнергии в ЕС в последние годы находится на уровне 3200 ... 3300 ТВт·ч/год. Доля ВИЭ составляет около 21% от общего объема производства электроэнергии. В структуре производства электроэнергии из ВИЭ первое место занимает гидроэнергетика (57% всех ВИЭ), на втором и третьем местах находятся энергия ветра (21%) и биомассы (19%). Всего за счет ВИЭ в ЕС к 2020 г.

планируют производить 34% от общего потребления электроэнергии. Производство электроэнергии из биомассы (твердая биомасса, органические отходы, биогаз) планируют увеличить втрое до 300 ТВт·ч/год [1,с.3].

Одним из важнейших направлений ВИЭ в ЕС является производство и использование биогаза. Лидером в производстве биогаза является Евросоюз в целом и Германия в частности. Общее производство биогаза в ЕС в 2010 г. составило 10,9 млн. т н.э. (эквивалент 13,5 млрд. м³ природного газа), из них 6,7 млн. т н.э. – произведено в Германии. В балансе производства электроэнергии из ВИЭ в ЕС электроэнергия из биогаза составляет 4,5%, а в балансе производства электроэнергии из биомассы – 24,4%. Согласно прогнозу Еврокомиссии относительно структуры производства электроэнергии из ВИЭ в ЕС в 2020 г. доля электроэнергии из биогаза составит около 8%, превысив вклад малой гидроэнергетики, геотермальной и солнечной энергетики, а также электроэнергии из отходов [2,с.12].

Прогноз по производству биогаза в странах ЕС показывает возможность производства биогаза в 27 странах ЕС в 2020 г. в объеме, эквивалентном 29,43 млн. т н.э. (эквивалент 36,29 млрд. м³ природного газа) Для этого нужно будет использовать 35% всех навозных отходов животноводческих ферм и выращивать энергетические культуры под биогаз на 5% сельскохозяйственных земель. По оценкам аналитиков, рынок биогаза продолжит стремительно развиваться, замещая другие энергоносители в общей структуре энергетического баланса [3].

В Украине есть единичные примеры внедрения биогазовых технологий. Первая из ныне работающих на отходах животноводства БГУ промышленного типа была построена в 1993 г. на свиноферме комбината «Запорожсталь». После этого были запущены биогазовые установки компаний «Агро-Овен», «Элита», «Украинская молочная компания». По

состоянию на 2012 г. на базе сельскохозяйственных предприятий в Украине функционировали 4 биогазовые установки[1,с.12].

Агропромышленный сектор Украины производит значительные объемы органических отходов и потенциально обладает ресурсами для производства биогаза, способными заместить 2,6 млрд. м³ природного газа в год. При дальнейшем развитии сельского хозяйства и широком использовании растительного сырья (силос, травы) этот потенциал может быть доведен по разным оценкам от 7,7 до 18 млрд. м³ /год в пересчете на природный газ. В первом случае предполагается использовать 6% пахотных (50% свободных от посевов) земель в Украине под выращивание кукурузы на биогаз с консервативной величиной урожайности 30 т/га. При этом доля биогаза из силоса кукурузы составит 53,0% от общего потенциала, из побочной продукции и отходов растениеводства – 5,7%, из побочной продукции и отходов пищевой перерабатывающей промышленности – 5,3%, из навозных отходов животноводства – 36%. Второй вариант с более высоким прогнозом предполагает использование 7.9 млн. га свободных от посевов земель под выращивание кукурузы на биогаз с учетом повышения урожайности[1,с.15].

Потенциальный объем биогазового рынка в Украине реально освоить в течение 10-20 лет (до 2030 года). Необходимой предпосылкой реализации данных проектов на первом этапе является введение экономически обоснованного зеленого тарифа для электроэнергии из биогаза. Для реализации эффективных энергетических биогазовых проектов важно стимулировать производство электроэнергии из биогаза, полученной не только из отходов биомассы, но и из специально выращенного растительного сырья. Параллельно с производством электроэнергии в Украине целесообразно внедрять производство биометана для прямого замещения природного газа или более эффективной энергетической утилизации биогаза в производстве электроэнергии и тепла [4].

В целом биогазовый рынок в Украине можно оценить как перспективный, с достаточно широкой осведомленностью участников, ожидающий сигналов со стороны государства. Такими сигналами на первом этапе может быть введение в действие гарантированной законом величины «зеленого» тарифа для электроэнергии из биогаза без ограничения видов оборудования или сырья, другие виды реальной законодательной поддержки и нормативно-правового обеспечения[4].

Сегодня существует 4 основных законодательных барьера на пути развития производства энергии из биомассы, в частности из биогаза, и предложений по их преодолению путем внесения изменений в Закон Украины № 5485-VI, а именно:

1. Необоснованно низкий коэффициент «зеленого» тарифа для электроэнергии из биогаза. Предложение по преодолению барьера: Установить коэффициент ЗТ для электроэнергии, произведенной из биогаза, на уровне 3,0 для биогаза, полученного из отходов и продукции сельского хозяйства, и 2,7 для всех других видов биогаза.

2. Некорректное определение термина «биомасса». Предложение по преодолению барьера: Скорректировать термин «биомасса» следующим образом: "В этом Законе биомассой является биологически возобновляемое вещество органического происхождения, которое подвергается биологическому разложению (продукты, отходы и остатки лесного и сельского хозяйства (растениеводства и животноводства), рыбного хозяйства и технологически связанных с ними отраслей промышленности), а также составляющая промышленных или бытовых отходов, которая способна к биологическому разложению".

3. Необоснованные требования относительно доли местной составляющей оборудования, материалов и услуг в общей стоимости проектов. Предложение по преодолению барьера: Отменить какое-либо требование по доле местной составляющей для проектов, претендующих

на получение «зеленого» тарифа на электроэнергию из биомассы и биогаза.

Таблица 1

Национальный проект «Энергия биогаза»

Суть проекта	Внедрение биогазовых установок и мини-ТЭЦ, работающих на биогазе общей мощностью 1700 МВт тепла + 1500 МВт электроэнергии; Производство биометана и подача его в газопроводы до 5 млрд. м ³ /год
Стратегические цели	Энергетическая независимость Украины; Производство биометана в качестве заменителя природного газа; Замещение потребления природного газа – до 1 млрд. м ³ /год до 2020 г., а в перспективе – до 8 млрд. м ³ /год (до 2030 г.); Экологическая безопасность Украины; Повышение рентабельности сельского хозяйства Украины. Повышение и стабилизация плодородия почвы – вклад в реализацию проекта «органическое земледелие»
Программная ответственность	Программа экологических реформ на 2010-2014 гг.; Закон Украины «Про основные положения государственной аграрной политики на период до 2015 г»; «Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 г»; Решение СНБО Украины.
Экономическая целесообразность	Замещение проблемного импортированного природного газа биогазом и биометаном; Покрытие части пиковых нагрузок в потреблении энергии; Получение экологически чистых биологических удобрений; Развитие инфраструктуры местной экономики; Улучшение инвестиционного климата в государстве; Окупаемость некоторых проектов в форме государственно- частного партнерства 7-8 лет при условии внедрения обоснованного ЗТ. Диверсификация сельскохозяйственного производства (расширение номенклатуры товарной продукции – удобрение, витаминные препараты, тепло, электричество, квоты на парниковые газы...)
Социальный эффект	Улучшение экологической ситуации; Создание новых рабочих мест – до 15 тыс. Самообеспечение энергией и удобрением
Объем привлечения инвестиций	Около 30 млрд. грн.

4. Терминологические ошибки в описании основных элементов оборудования для объектов электроэнергетики, использующих энергию биогаза. Предложение по преодолению барьера: Для исправления ошибок Закона № 5485-VI необходимо в законе расширить таблицы с описанием элементов местной составляющей для объектов электроэнергетики, использующих энергию биомассы и биогаза [1,с.16].

Учитывая большое значение развития биогазовых технологий, а именно вклад в обеспечение энергетической независимости, замещение природного газа, децентрализацию энергопроизводства, улучшение экологии, развитие сельского хозяйства и создание новых рабочих мест целесообразно оказывать поддержку и реализацию Национального проекта «Энергия биогаза». Краткое описание проекта приведено в табл. 1.

Достоинства биогазовых технологий не вызывают сомнений, что подтверждается их бурным развитием в мире. Аналогичным образом такие технологии, по мнению авторов, должны внедряться и в Украине. Для этой цели необходимо устранить барьеры на законодательном уровне, в сфере разрешительной документации, сделать прозрачным и однозначным механизм получения налоговых льгот при импорте оборудования для проектов ВИЭ, активизировать развитие национального проекта «Энергия биогаза». Сектор биоэнергетики и биогаза нуждается в адекватной оценке и поддержке со стороны государства [2,с.61].

Литература

1. Гелентуха Г.Г., Кучерук П.П., Матвеев Ю.П. Аналитическая записка БАУ №4 «Перспективы производства и использования биогаза в Украине». – Киев, 31 мая 2013 год. - 22 с.
2. Гелентуха Г.Г., Кучерук П.П., Матвеев Ю.П. «Развитие биогазовых технологий в Украине и Германии: нормативно-правовое поле, состояние и перспективы». – Киев - Гюльцов. - 2013 год.- 72 с.

3. <http://www.biowatt.com.ua>.

4. uaenergy.com.ua.

Перспективи виробництва і використання біогазу в Україні. О.О. Купін

У даній статті розглянуто стан розвитку біогазових технологій в ЄС і в Україні за останній час. Показаний потенціал виробництва біогазу в Україні, розкрита концепція виробництва біогазу в країні до 2030 року. Визначені основні бар'єри, які стримують виробництво біогазу в країні. Зроблені висновки відносно можливих шляхів подолання існуючих бар'єрів.

Die Aussichten für die Erzeugung und Nutzung von Biogas in der Ukraine.

О.О. Купін

Dieser Artikel beschreibt den Stand der Entwicklung der Biogastechnologie in der EU und der Ukraine in den letzten Jahren. Hier wird auch über dem Potenzial der Biogasproduktion in der Ukraine und über dem Konzept der Biogasproduktion im Land bis zum Jahr 2030 berichtet. Dargestellt sind die Haupthindernisse für die Produktion von Biogas in der Ukraine und mögliche Wege, um die bestehenden Hindernisse zu überwinden.

УДК 621.3

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОЇ УСТАНОВКИ СЕПАРАЦІЇ МОЛОКА З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖУ

І.О. Доброхлоп , студент групи Енб/1

О.С. Кириченко, кандидат технічних наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет

Розроблено автоматизований електропривод установки сепарації молока. Проаналізовано перехідні процеси рекуперації енергії в мережу. Встановлено, що енергія гальмування сепаратора протягом робочого

циклу становить $2,2 \text{ кВт}\cdot\text{с}$, а середнє значення потужності гальмування протягом робочого циклу – $11,5 \text{ кВт}$.

Ключові слова: автоматизований електропривод, сепаратор молока, перетворювач частоти, система керування, рекуперація енергії.

Серед споживачів електричної енергії значну частку складають електродвигуни різного призначення, що споживають більше половини виробленої енергії. Саме тут закладені найбільші резерви енергозбереження [1]. Недоліком реостатних систем керування асинхронних двигунів є значні витрати енергії під час пуску та гальмування. Частотно-керовані системи мають високі регулювальні властивості та кращі техніко-економічні показники керування [2-5]. Проте, протягом тривалого часу зайва енергія, яка накопичується в перетворювачах частоти при гальмуванні асинхронних двигунів з високоінерційним навантаженням або в статичному режимі гальмування розсіювалась на спеціальних гальмівних резисторах. Останнє – необхідна умова для обмеження рівня напруги на шинах постійного струму перетворювачів частоти при роботі в цих режимах. Відомо, що це призводить до зайвих витрат. Сучасні технології дають змогу повертати енергію в живлячу мережу в режимах гальмування, використовуючи додатково до перетворювачів модулі рекуперації.

Таки чином, гальмування з поверненням енергії в живлячу мережу більш економічно доцільне, ніж гальмування з підключенням зовнішнього резистора. Воно дозволяє раціонально використовувати енергію гальмування, направляти її потік на інші механізми, знижуючи загальне споживання електроенергії в системах електропостачання.

Метою дослідження є визначення ефективності застосування для електроприводів молочних сепараторів перетворювачів частоти, а також модулів рекуперації. В якості обладнання перетворювача частоти запропоновано використати продукцію італійської компанії Elettronica

Santerno. Ефективним рішенням для рекуперації енергії є використання частотних перетворювачів Sinus Penta разом з модулем рекуперації.

Промодельована робота сепаратора молока Westfalia модель MSE 600-01-777 з приводом від асинхронного двигуна потужністю 75 кВт. Запропоновано використати енергоефективну систему векторного керування, побудовано математичну модель даної частотної системи. Використано наступне обладнання: асинхронний електродвигун AIP280S6 з номінальною потужністю 75 кВт та з частотою обертів 985 об/хв, перетворювачі частоти основний та рекуперативний моделі SINUS PENTA 0129 потужністю 75 кВт в режимі Heavy (перевантаження до 175 % – для центрифуг).

Встановлено, що енергія гальмування сепаратора протягом робочого циклу становить $W_r = 2,2 \cdot 10^3$ кВт·с, а середнє значення потужності гальмування протягом робочого циклу $P_{r,cp} = 11,5$ кВт. Цим підтверджується доцільність застосування рекуперації в розглядуваній системі.

Побудовано імітаційну модель системи в програмі Matlab Simulink пакету програм Matlab та отримано перехідні процеси з наступними показниками якості керування: час перехідного процесу $t_{пн} = 0,5$ с; час входження в 5 %-трубку становить близько 0,2 с; перегулювання $\sigma = 5$ %.

Література

1. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации / [М.П. Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козярук и др.]; под. ред. В.А. Новикова, Л.М. Чернигова. – М.: Академия, 2006. – 368 с.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: Академия, 2006 г. – 259 с.

3. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов / под. общ. ред. Народицкого А.Г. – Санкт-Петербург: СПбЭТК, 2004 г.

4. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006 г., – 94 с.

Разработка электротехнологической установки сепарации молока с рекуперацией энергии в сеть. І.О. Доброхлоп, О.С. Кириченко

Разработан автоматизированный электропривод установки сепарации молока. Проанализированы переходные процессы рекуперации энергии в сеть. Установлено, что энергия торможения сепаратора на протяжении рабочего цикла составляет 2,2 кВт·с, а среднее значение мощности на протяжении рабочего цикла – 11,5 кВт.

Development of Power Engineering and installation of milk separation with energy recovery into the network. І.О. Dobrohlop, O.S. Kirichenko

Automated electric drive of milk separation unit is developed. Transient processes of energy recovery are analyzed. It was found that The energy of the separator during braking cycle is 2,2 kW·s, the average power over the cycle – 11,5 kW.

УДК 621.3

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА УСТАНОВКА СУШІННЯ ЗЕРНА

К.В. Чаплига, студент групи Енб/1

О.С. Кириченко, кандидат технічних наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет

Проаналізована енергоефективна установки сушіння зерна. Сконструйовано модернізований варіант установки з частотним електроприводом вентиляторів.

Ключові слова: установка сушіння зерна, енергоефективність, частотний електропривод.

Підвищення енергоефективності зерносушильних установок залишаються актуальними. Будь-яка модернізація сушарок, що сприяє підвищенню їх продуктивності, в тому числі й інтенсифікація процесу сушіння, в тій чи іншій мірі сприяє зниженню витрат палива на сушку, про що свідчить теорія і практика сушки [1].

В основі інтенсифікації процесу сушіння повинні лежати заходи, які враховують закономірності явищ внутрішнього вологопереносу і зовнішнього тепло- і вологообміну. Комплексного впливу на інтенсифікацію зовнішнього вологообміну і внутрішнього вологопереносу можна домогтися на основі оптимального поєднання технологічних прийомів, використовуваних для зневоднення зерна в експлуатованих і проєктованих зерносушарках.

В проведених дослідження розглянуто основні шляхи зниження нерівномірності нагріву і сушіння зерна. Сконструйовано модернізований варіант установки сушіння зерна з енергоефективним автоматизованим електроприводом на базі частотної системи керування [2-4], який дозволить знизити споживання енергоресурсів. За деякими даними економія електроенергії буде складати приблизно 10-30 %.

Література

1. Воробьев В.А. Электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства / В.А. Воробьев. – М.: Колос, 2005. – 278 с.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г Соколовский. – М.: «Академия», 2006. – 265.
3. Терехов В.М. Системы управления электроприводов / В.М. Терехов. – М.: Академия, 2004. – 296 с.

4. Фираго Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.

Энергоэффективная установка сушения зерна. К.В. Чаплига, О.С. Кириченко

Проанализирована энергоэффективная установка сушения зерна. Сконструирован модернизированный вариант установки с частотным электроприводом вентиляторов.

Energy-efficient installation of grain drying. K.V. Chapliga, O.S. Kirichenko

Analyzed energy-efficient installation of drying grain. Designed modernized version of installation with frequency electric fans.

УДК 631.363

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ТА РЕЖИМНИХ
ПАРАМЕТРІВ ДРОБАРКИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА**

А.Д. Полудень, студентка групи М6

О.О. Стрюк, студент групи М6

О.А. Горбенко, кандидат технічних наук, доцент

Миколаївський національний аграрний університет

На базі аналізу існуючих вітчизняних та зарубіжних конструкцій для дроблення фуражного зерна, запропоновано конструктивне рішення, яке може бути застосоване у господарствах різних форм власності.

Ключові слова: зернодробарка, фуражне зерно, перетирання зерна, роздавлювання, розбивання, різання, голкоподібний ударний елемент.

При виробництві продукції тваринництва головним фактором є створення і ефективне використання кормової бази, в якій зерновій складовій відводиться першорядна роль.

Наявність сировини власного виробництва та можливість застосування білково-вітамінних добавок робить можливим отримання в умовах сільськогосподарських підприємств кормів власного виробництва для забезпечення тваринництва.

Дослідженнями встановлено, що застосування в тваринництві високоякісних кормів, збалансованих по поживності, підвищують на 25-30% продуктивність тварин. Кожен згодований центнер концкормів, в порівнянні з зернофуражними, дасть додатково 3-4кг м'яса.

Таким чином, розробка, модернізація і впровадження нових технічних рішень машин для підготовки кормів до згодовування, в тому числі дробарок зерна є актуальними.

Метою наукової роботи є обґрунтування конструктивних та режимних параметрів дробарки фуражного зерна, що може бути застосоване у виробничих умовах господарств різних форм власності для забезпечення поголів'я тварин концентрованими кормами.

Відомі різні способи силового впливу на матеріал, який переробляється. Найпоширеніші механічні способи подрібнення, які відзначаються простотою, надійністю і високою продуктивністю обладнання такі як дроблення ударом, стискання або розмелювання, розколювання, плющення, різання.

Аналіз конструктивних схем і досліджень робочого процесу дробарок показує, що основні показники їх роботи, такі, як витрата енергії і якість одержуваного продукту не повною мірою відповідають сучасним вимогам підготовки кормів до згодовування тваринам. Тим не менш, можливості подальшого підвищення ефективності роботи дробарок не вичерпані, і необхідно працювати над створенням нових конструктивних рішень.

Для вирішення завдань дослідження процесу подрібнення зерна спроектована експериментальна установка з голкоподібними робочими елементами. У робочій камері дробарки розміщені ротор з голкоподібними елементами, решето, деки. Весь простір робочої камери можна умовно розділити на 4 сектори: I - сектор завантаження, II - сектор першої деки, III - сектор решета, IV - сектор другої деки.

Подрібнення частинок матеріалу відбувається за рахунок їх послідовних механічних взаємодій з активними (ротор) і пасивними (решето, деки) робочими органами. Цей процес відбувається в кільцевому повітряно-продуктовому шарі, що складається з 2-х зон: А - зона дії активних робочих елементів, Б - зона дії пасивних робочих органів. Працює дробарка наступним чином. Ротор здійснює обертальний рух. Зерно з приймального бункера надходить у робочу камеру, де подрібнюється під дією голкоподібних елементів ротора, а також, за рахунок ударів об деки і решето. Подрібнене зерно через отвори решета надходить у зарешітний простір, звідки потрапляє в контрольну тару.

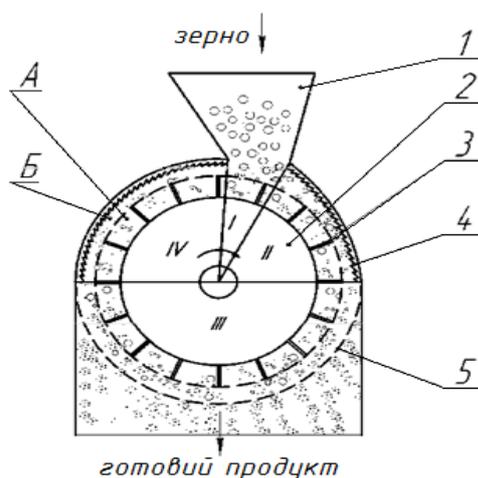


Рис. 1. Схема подрібнення матеріалу в дробарці з голкоподібними робочими елементами:

1 - завантажувальний пристрій; 2 - ротор; 3 - голкоподібний робочий елемент; 4 - дека; 5 - решето; I - сектор завантаження; II - сектор першої деки; III - сектор решета; IV - сектор другої деки; А - зона дії голкоподібних робочих елементів; Б - зона дії пасивних робочих органів

По результатам проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

- У відповідності із завданням виконано аналіз конструкцій машин для подрібнення зерна та конструкцій машин виконаних на рівні винаходів.
- Обґрунтовано конструктивні параметри ротора з голкоподібними робочими елементами для подрібнення фуражного зерна: довжина голкоподібного елемента - 40-50 мм; діаметр - 4-6 мм; маса - 9-40 г.
- Обґрунтовано і експериментально підтверджено режимні параметри ротора з голкоподібними робочими елементами. Окружна швидкість ротора - 65-70 м/с, кількість голкоподібних елементів - 900-1100 шт./м².
- Дробарка з експериментальним ротором дозволяє отримати продукт більш вирівняного гранулометричного складу, ніж дробарка з серійним ротором. При модулі помелу 1,1 мм, вміст великої фракції знижується на 2-2,5%, дрібної фракції - на 3-4%.

Література

1. Булгаков В.Є., Сова О. А. Довідник оператора по вирощуванню і відгодівлі великої рогатої худоби. - С. Урожай, 1989. - 83 с.
2. Машиновикористання у тваринництві /І.І. Ревенко, В.М. Манько, В.І. Кравчук; За ред. І.І. Ревенка. - К: Урожай, 1999. - 208 с.
3. Удосконалення експлуатації машин і обладнання тваринницьких ферм і комплексів / Г.М. Кукта, В.П. Гейфман, В.І. Дешко та ін.; За ред. Г.М. Кукта. - К: Урожай, 1989. - 224 с.
4. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. - М.: Агропромиздат, 1987. - 303 с.

5. Технологія виробництва комбікормів / В.В. Крилов, Л.П.Мищенко. – М.: Агропромиздат, 1978. – 265с.

Обоснование конструктивных и режимных параметров дробилки фуражного зерна. А.Д. Полудень, А.А. Стрюк, О.А. Горбенко

На основе анализа существующих отечественных и зарубежных конструкций для дробления фуражного зерна, предложено конструктивное решение, которое может быть применено в хозяйствах различных форм собственности.

Justification of constructive and regime parameters of a crusher feed grain. A.D. Poluden, A.A. Stryuk, O.A. Gorbenko

Based on an analysis of existing domestic and foreign designs for crushing coarse grains, offer constructive solution which can be applied in different forms of property holdings.

УДК 631.363

**АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА
КОМБІКОРМІВ З ВДОСКОНАЛЕННЯМ КОНСТРУКЦІЇ
ПОДРІБНЮВАЧА ЗЕРНА**

О.А. Горбенко, кандидат технічних наук, доцент

І.В. Чернов, студент групи Мбм

Я.О. Шадзінський, студент групи Мбм

Миколаївський національний аграрний університет

В статті приведені результати аналізу технологічного процесу виробництва комбікормів з обґрунтуванням вибору конструкції подрібнювача зерна. Було запропоновано рішення дробарки №2014 05262. Застосування винаходу дозволяє підвищити рівномірність подачі зерна до

розгінних лопаток диску і до робочій поверхні ребристих дек з різними кутами зіткнення, що підвищить ефективність і якість подрібнення зернової складової комбікорму.

Ключові слова: дробарка, комбікорм, установка.

Технологія виробництва комбікормів є сукупністю операцій, послідовне виконання яких дозволяє отримати з кормової сировини, компоненти якої значно відрізняються один від одного по комплексу фізико-механічних властивостей, поживності, хімічному складу, рецептуру із заданими параметрами. При цьому кінцевий продукт у вигляді комбікорму враховує вид, стать, вік, сільськогосподарських тварин.

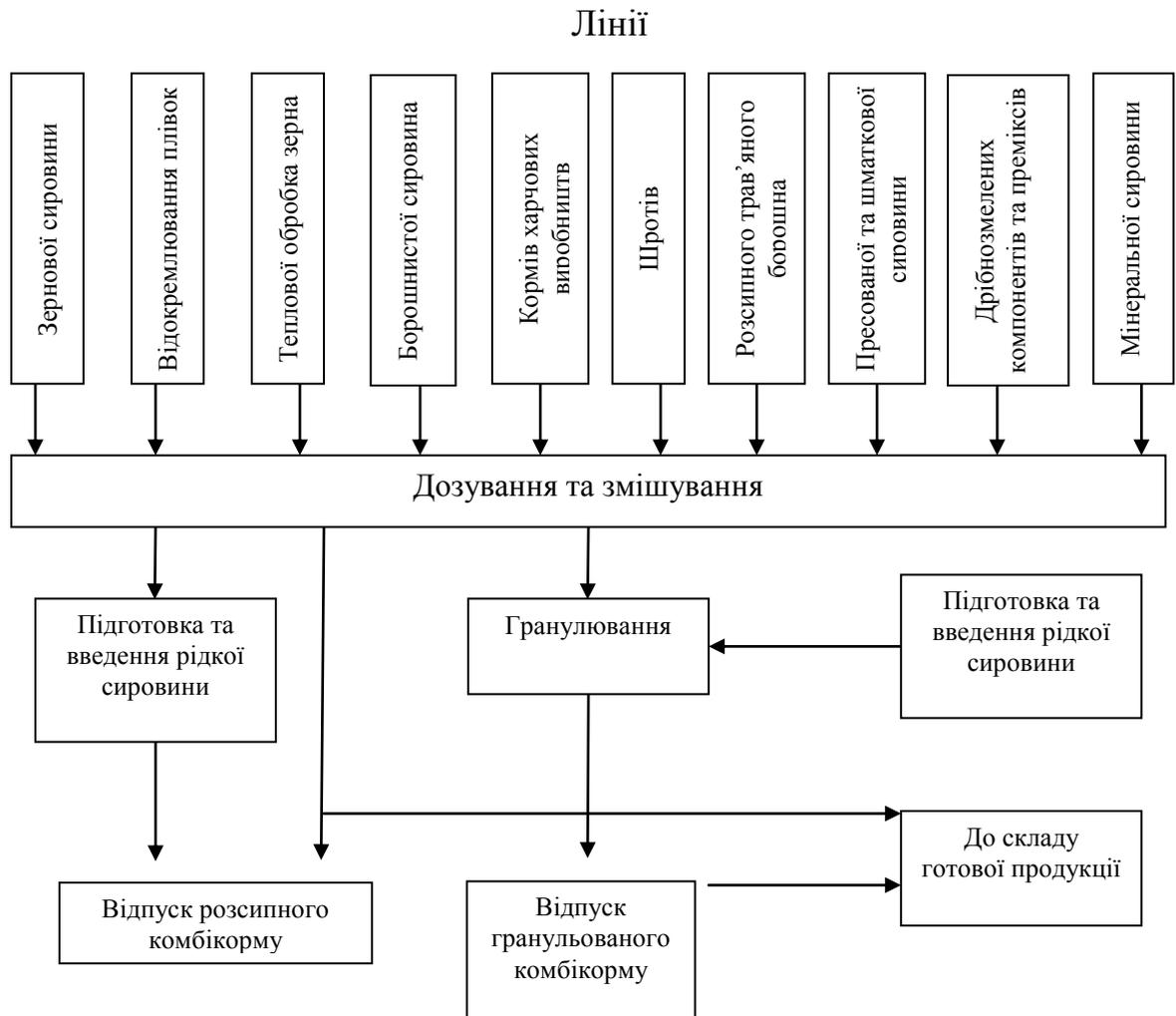


Рис. 1. Структурна схема комбікормового виробництва з роздільною підготовкою сировини

Приготування комбікормів поділяється на такі операції: приймання, зважування і зберігання сировини; очищення сировини від сторонніх домішок; вологотермічна обробка зерна, подрібнення зерна і інших компонентів; сушку і подрібнення мінеральної сировини; підготовку суміші мікродобавок з наповнювачем; введення в комбікорми рідких добавок; дозування компонентів згідно з рецептами; змішування компонентів; гранулювання або брикетування сумішей.

Для дослідження процесу подрібнення зернової частини компонентів комбікорму застосовано експериментальну установку виготовлену на базі дробарки ударно-стираючої дії.

Експериментальна установка має вертикальний вал ротора, в робочій камері якого, крім атмосферного тиску, задається різна величина фіксованого надлишкового і вакуумметричного тиску повітря за допомогою вакуумного насоса або компресора. Установка працює в режимі періодичної дії. При проведенні експериментальних досліджень є можливість заміни робочих органів, варіювання частоти обертання ротора, змінювання величини тиску повітря в робочій камері. Процеси, що відбуваються в лабораторній установці, доступні візуальному спостереженню, є можливість проводити вимірювання.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що чим нижче твердість зернової культури, тим ефективніше вона подрібнюється при розрідженні повітря в робочій камері дробарки. Найбільш характерна зміна помелу готового продукту, що отримується при тиску повітря 10 кПа, в порівнянні з помелом продукту, отриманого при нормальному атмосферному тиску 101 кПа, склала: для жита – 25 %, для пшениці – 19,6%, для ячменю – 14,5%.

Запропоновано конструктивне рішення дробарки заявка №u20142014 05262. Застосування винаходу дозволяє підвищити рівномірність подачі зерна до розгінних лопаток диску і до робочої поверхні ребристих дек з різними кутами зіткнення, що підвище ефективність і якість подрібнення

Література

1. Технологія виробництва комбікормів / В.В. Крилов, Л.П.Мищенко. – М.: Агропромиздат, 1978. – 265с.
2. Машины для подрібнення зерна / М.В. Брежнев, Л.М. Луценко. – К.: Агропромиздат, 1981. – 248с.
3. Патент на корисну модель зернодробарки №u2014 05262
4. Машины для подрібнення зерна / М.В. Брежнев, Л.М. Луценко. – К.: Агропромиздат, 1981. – 248с.
5. Виробництво комбікорму в умовах господарства / С.М. Рахімов, К.В. Даниленко. М.: Агропромиздат, 1989. – 312с.

Анализ технологического процесса производства комбикормов с усовершенствованием конструкции измельчителя зерна. Е.А. Горбенко, И.В. Чернов, Я.А. Шадзинский

В статье приведены результаты анализа технологического процесса производства комбикормов с обоснованием выбора конструкции измельчителя зерна. Было предложено решение дробилки №u201405262. Применение изобретения позволяет повысить равномерность подачи зерна в разгонных лопаток диска и к рабочей поверхности ребристых дек с различными углами столкновения, повысит эффективность и качество измельчения зерновой составляющей комбикорма.

Analysis of the technological process of production of animal feed with improved design grain refiner. E.A. Gorbenko, I.V. Chernov, J.A. Shadzinsky

The results of the analysis of the process of production of animal feed with the choice of design rationale grain refiner. It was suggested that the crusher solution №u2014 05262. Application of the invention can improve the uniformity of the grain supply in the booster disk blades and the working surface of the ribbed deck with different angles of collision, increase the efficiency and quality of grinding grain component of animal feed.

УДК 621.787

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ І ПРИСТРОЇВ
ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНЕВИМ
ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ**

О.В. Прокопчук, студентка групи М6(м)

В.І. Гавриш, доктор економічних наук, професор

Д.Д. Марченко, кандидат технічних наук, в.о. доцент

Миколаївський національний аграрний університет

У статті наведено дослідження і розробка технології і пристроїв для відновлення сталевих деталей поверхневим пластичним деформуванням. Було запропоновано технологію відновлення сталевих деталей за допомогою поверхневого пластичного деформування, що дозволило підвищити їх довговічність.

Ключові слова: пластична деформація, обкатування роликком, зміцнення, накатування поверхні.

Підвищення якості і надійності машин та їх елементів є однією з важливих та першочергових задач сучасного етапу розвитку вітчизняного машинобудування. Ця проблема може вирішуватися з допомогою розробки та освоєння ефективних методів зміцнення деталей машин та підвищення працездатності.

Поверхнева пластична деформація з допомогою обкатування деталей роликами і шариками після обточування їх різцем або шліфування виконується для зниження шорсткості поверхні і зміцнення поверхневого шару.

Поверхнева пластична деформація застосовується з метою підвищення зносостійкості пар тертя, контактної і втомної міцності деталей. Зниження шорсткості, а також збільшення радіусів закруглення вершин шорсткості,

збільшення опорної поверхні призводять до підвищення зносостійкості деталей або покращення їх товарного виду.

При зміцнюючому обкатуванні підвищується твердість поверхневого шару, в ньому крім того з'являються стискаючі напруження. Все це призводить до підвищення втомної міцності деталей.

Основні режими обкатування – це зусилля на ролики і подача ролика на кожний оборот деталі. Зусилля на ролики вибирається в залежності від діаметра деталі, діаметра і профільного радіуса ролика і твердості обкатуваного матеріалу. Реалізація оптимального основного режиму обкатування (робочого зусилля) пов'язана з жорсткістю технологічної системи верстат-інструмент-деталь. У значенні збереження оптимального режиму обкатування представляє небезпеку не стільки зниження жорсткості, скільки її непостійність.

Поверхнєве пластичне деформування об'єднує способи обробки поверхонь без видалення шару матеріалу.

ППД використовують при обробці практично усіх розглянутих раніше типів поверхонь в усіх типах виробництва.

Способи реалізації ППД можна умовно поділити на дві групи:

- способи, призначені для зменшення шорсткості поверхні та підвищення її зносостійкості;
- способи формування деяких видів поверхонь взагалі (наприклад, різі, шліців, зубчастих елементів тощо).

До першої групи входять такі найбільш поширені способи, як обкочування та розкочування поверхонь роликками та кульками, алмазне вигладжування, калібрування отворів кульками та дорнами, обдування поверхні шротом тощо.

Схеми реалізації деяких із цих способів обробки показані на рис. 1– 3.

Обробку здебільшого виконують на токарних, фрезерних, свердлильно-розточувальних верстатах, а також на спеціальних установках (наприклад, шротоструменевих).

При обкочуванні поверхні (див. рис. 1) ролик створює на неї певний тиск, який ущільнює поверхневий шар металу.

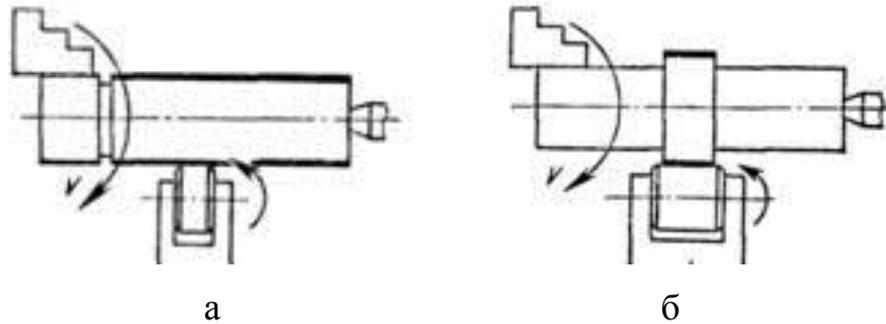


Рис. 1. Схеми обкочування поверхні роликом:

а - з поздовжньою подачею; б - з поперечною подачею

Завдяки цьому на поверхні зменшується шорсткість, з'являється наклеп, що підвищує зносостійкість та довговічність експлуатації.

При обробці розкочуванням отворів можуть використовуватися як схема з одним роликом (рис. 2, а), так і з використанням багатороликових головок (рис. 2, б).

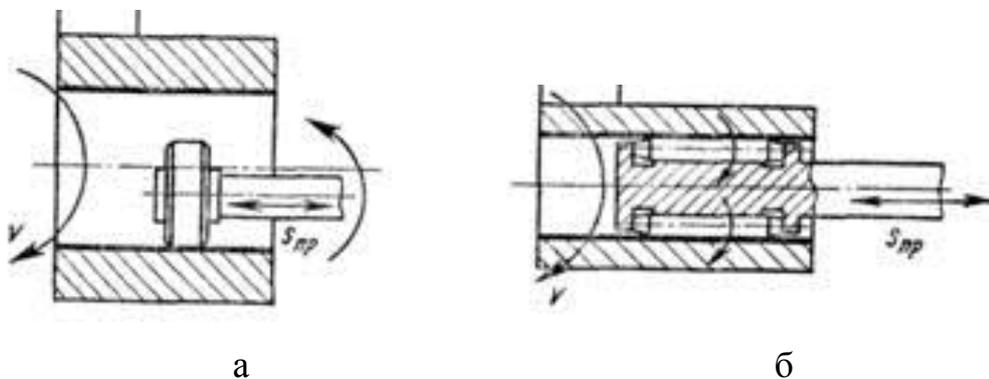


Рис. 2. Схеми розкочування отворів

Крім пристроїв з роликами, для обкочування та розкочування поверхонь використовують пристрої, оснащені сталевими кульками або алмазом. Такий інструмент дозволяє обробляти не тільки поверхні великої довжини, а і радіуси та галтелі.

Використання алмазних наконечників, яким додають радіусної форми $R = 2-4$ мм, дає змогу обробляти загартовані поверхні з твердістю до HRC 60 та забезпечувати при цьому шорсткість $Ra (0,02-0,04)$ мкм.

Швидкість обробки при обкочуванні та розкочуванні знаходиться у межах 50-150 м/хв. Подача – 0,05-0,1 мм/об заготовки або інструмента (залежно від конструкції верстата).

Поверхня, що підлягає обробці способами ППД, повинна бути попередньо обробленою з шорсткістю не більше ніж на один-два класи грубіше, ніж очікуваний після обробки. У процесі обробки поверхні ролика та заготовки обов'язково змащують мастилом.

Підвищення точності отворів можна досягти їх калібруванням за допомогою дорнів різних конструкцій або кульок (див. рисунок 3).

Дорнування (рис. 3, а) виконують дорном, який проштовхують у попередньо оброблений отвір.

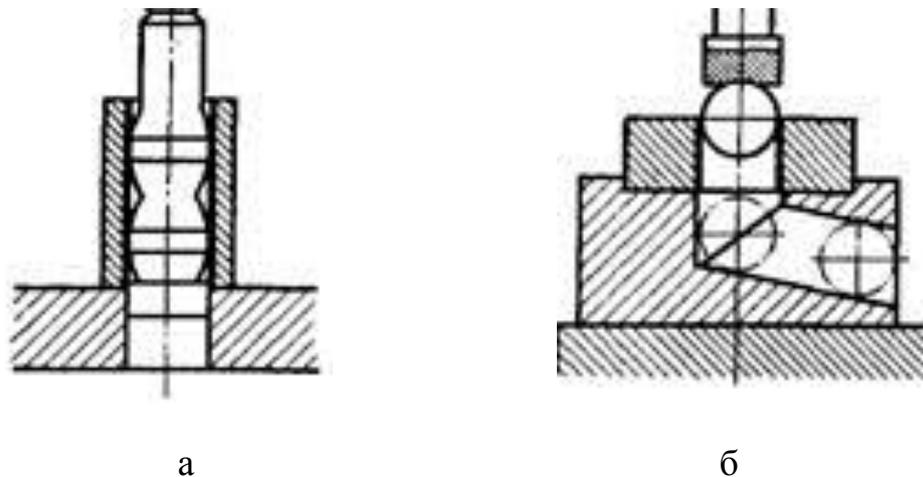


Рис. 3. Калібрування отворів

Розмір дорна дещо перевищує розмір отвору у заготовці, що дозволяє при обробці створити тиск на поверхню, зменшити її шорсткість та підвищити точність.

Швидкість переміщення дорна 2-10 м/хв. При вихідній шорсткості поверхні $Ra (4-8)$ мкм дорнування забезпечує шорсткість $Ra (0,08-0,16)$ мкм з підвищенням поверхневої твердості на 70%.

Калібрування кульками (рис. 3, б) не забезпечує оптимальних умов для калібрування, та і самі кульки мають порівняно невелику стійкість. Але простота реалізації та можливість автоматизації роблять цей процес досить поширеним у виробництві.

Калібрування виконують за допомогою пресів різних конструкцій (гвинтових, важільних, гідравлічних тощо) або на спеціальних автоматизованих установках.

Поверхні при калібруванні обов'язково змащують мастилом.

Шротоструменева обробка (обдування поверхні сталі або чавунним шротом) полягає у тому, що механічним шляхом або за допомогою стиснутого повітря на поверхню спрямовують струмінь металевих кульок. Швидкість струменя шроту досягає 70-90 м/с.

При цьому поверхневий шар заготовки отримує навантаження, яке викликає появу на ньому наклепу. Поверхневий шар ущільнюється, що позитивно впливає на експлуатаційні характеристики поверхні.

Шротоструменеву обробку також використовують як технологічний прийом для зменшення залишкових напружень при штучному старінні заготовок після обдирної обробки.

Таким способом можна обробляти заготовки досить великих розмірів на спеціальних установках, оснащених пристроями, що дозволяють повертати їх у процесі обробки.

Спосіб використовують практично в усіх типах виробництва.

Способи другої групи - виготовлення поверхонь у цілому за допомогою ППД принципово відрізняються від обробки різанням тим, що поверхня формується за рахунок витиснення деякого об'єму матеріалу із западин профілю поверхні та створення її виступів.

Такі способи називають накатуванням поверхні (різи, шліців, зубців тощо). Накатування виконують як у холодному стані заготовки, так і в гарячому (з підігрівом її до необхідної для пластичного деформування температури).

Матеріал поверхонь заготовок, що підлягають накатуванню, повинен відповідати таким вимогам: відносне подовження 10-25%, а твердість має бути у межах HRC 33-37.

У накатаній поверхні волокна матеріалу не перерізаються, а плавно огинають профіль (див. рис. 4).

Межа міцності на зріз таких поверхонь на 25-40% вища, ніж у оброблених різанням. У деяких галузях виробництва, наприклад, у літакобудуванні, використання не накатаних різей взагалі заборонено.

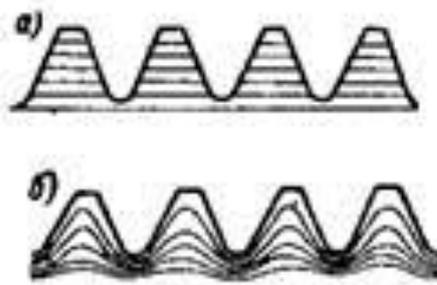


Рис. 4. Направлення волокон при обробці різі:

а - лезова обробка; б - накатування

Накатування різі може здійснюватися на спеціальних різенакатувальних верстатах плоскими плашками (див. рис. 5, а) або накатними роликками (рис. 5, б-г).

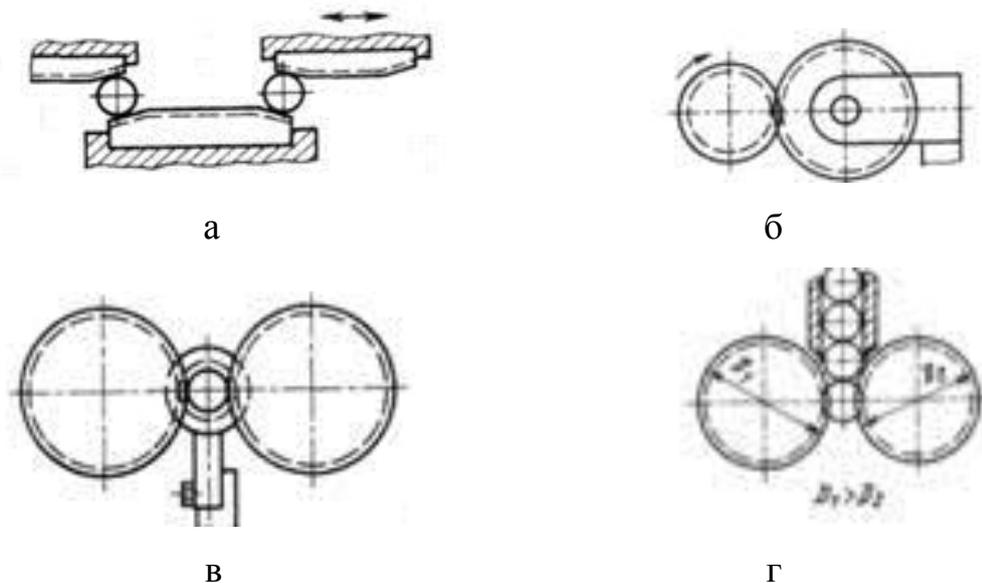


Рис. 5. Схеми накатування різі

При використанні плоских плашок заготовка прокочується між нерухомою та рухомою плашками зі швидкістю 15-20 м/хв.

Спосіб дозволяє виготовляти різі розміром від 2 до 25 мм, довжиною до 125 мм 5-6-го ступенів точності при шорсткості поверхні Ra (0,32-1,25) мкм.

Накатування за допомогою роликів використовують для виготовлення різі розміром від 0,3 до 150 мм.

Кількість роликів може бути від 1 до 3. Накатування може здійснюватися як з радіальною подачею роликів, так і з поздовжньою.

У деяких схемах накатування з поздовжньою подачею довжина різі практично не обмежується. Швидкість накатування різі роликами знаходиться у межах 25-120 м/хв. Спосіб забезпечує 4-5-й ступінь точності при шорсткості поверхні Ra (0,32-1,25) мкм.

Спосіб використовують в умовах великосерійного та масового виробництв.

Для накатування різі в отворах використовують безстружкові мітчики-розкатники, які не мають різальних кромek (див. рис. 6).

Розкатник має забірну та калібрувальну частини. По всій довжині розкатника виконане огранювання профілю під кутом 120° для зменшення сил тертя під час роботи.

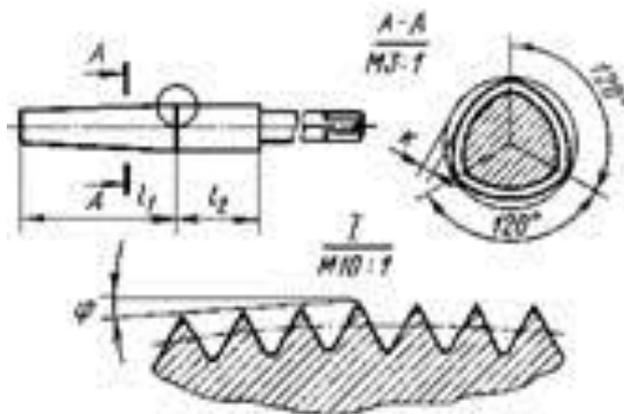


Рис. 6. Безстружковий мітчик-розкатник

Для різі із кроком більше 2 мм перед розкатуванням виконують її попередню обробку лезовими способами.

Накатування шліців невеликих розмірів в умовах дрібносерійного виробництва можна виконувати на токарних верстатах роликком, що має відповідний профіль (див. рис. 7, а).

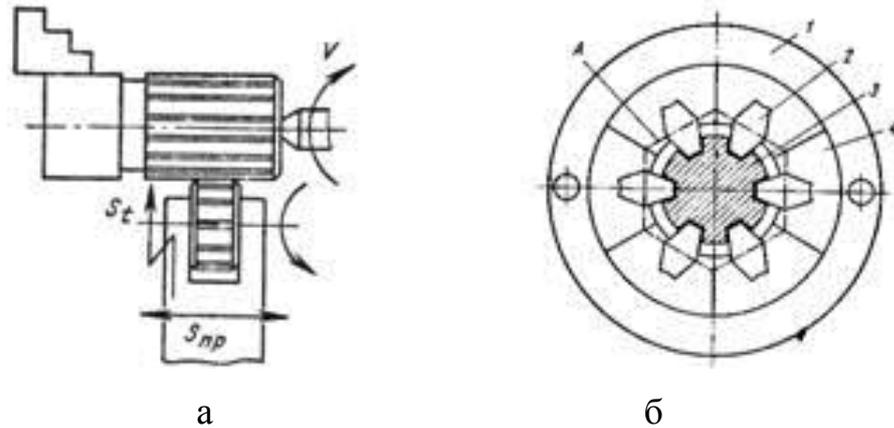


Рис. 7. Схеми накатування шліців

У великосерійному та масовому виробництві використовують більш продуктивні схеми, при яких роликами 2, встановленими у корпусі 1, одночасно формують на заготовці 3 профіль усіх канавок шліців (див. рис. 7, б).

Швидкість роликів знаходиться у межах 10-20 м/хв.

Спосіб дозволяє досягати точність кроку шліців до 0,04 мм при відхиленні від прямолінійності не більше 0,04 мм на 100 мм довжини шліців.

Накатування зубчастих коліс у 15-20 разів продуктивніше за виготовлення коліс методами різання.

Накатують як циліндричні колеса з прямим, косим та шевронним зубом, так і конічні колеса.

Зубці коліс з модулем до 1 мм накатують у холодному стані, а більших - у гарячому або у комбінованому (гаряче-холодному стані).

Принципова схема накатування зубчастого колеса у гарячому стані показана на рис. 8.

Заготовка 3, встановлена на оправці 2, вимушено обертається між зубчастим 4 та гладким 1 колесами. Гладке колесо попереджує витікання металу з периферії заготовки, а реборди на зубчастому колесі 4 не дають утворюватися дефектам на торцевих поверхнях заготовки. Нагрівання заготовки до температури 1000-12000С забезпечує індуктор струму високої частоти 5.

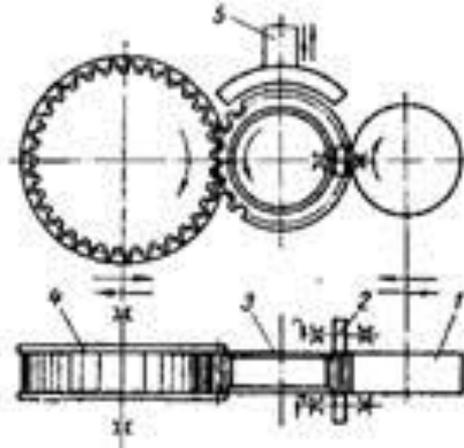


Рис. 8. Накатування зубчастого колеса

Холодне накатування забезпечує точність зубців 6-8-го ступенів, а гаряче накатування – 8-9-го при шорсткості поверхні Ra (0,32-1,25) мкм та Ra (1,25-6,3) мкм відповідно.

Накатування зубчастих коліс здійснюють в умовах великосерійного та масового виробництва на спеціальних установках.

Завершальна обробка накатаних коліс передбачає обробку центрального отвору та торцевих поверхонь.

Накатування рифлень, клейм та знаків на окремих елементах деталей виконують накатуванням у холодному стані.

Рифлення можуть бути накатані на токарному верстаті роликми з певним профілем накатки, встановленими у спеціальну державку (див. рис. 9).

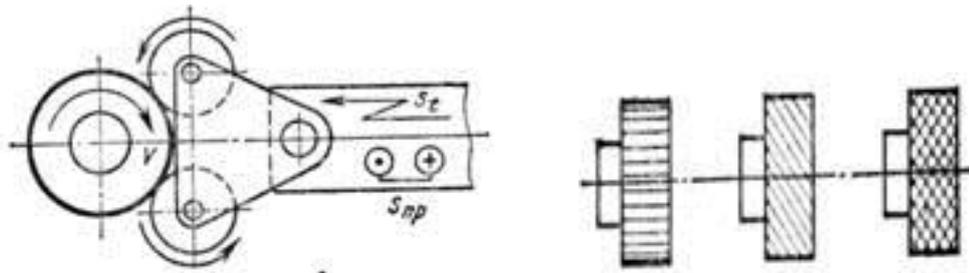


Рис. 9. Державка з роликами та види рифлень

Обробку прямих та косих рифлень виконують одним роликом, а сітчастих – двома з протилежним напрямком рифлень.

Накатування клейм та знаків в умовах великосерійного та масового виробництва здійснюють на спеціальних установках (див. рис. 10).

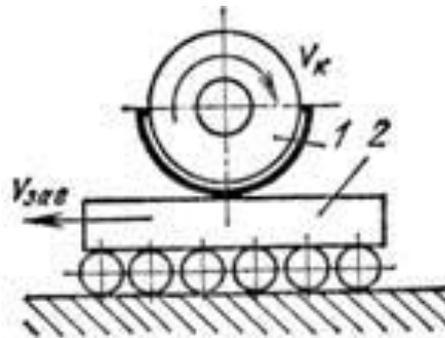


Рис. 10. Схема нанесення на поверхню клейма

На накатнику 1 розміщена негативно виступаюча форма клейма. Заготовку 2, встановлену на пристрої з роликами, переміщують повз накатник, який переносить клеймо на її поверхню.

Аналогічна схема може бути реалізована і для круглих заготовок.

Рифлення та клейма можуть бути нанесені і на спеціальних верстатах.

Література

1. Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов / Ю.И. Бабей, Б.И. Бутаков, В.Г. Сысоев. – Киев : Наукова думка, 1995. – 256 с.
2. Бутаков Б.И. Жесткость системы станок – инструмент – деталь при обкатывании деталей роликами / Б.И. Бутаков, А.В. Зубехина / Вісник

аграрної науки Причорномор'я. – Миколаїв : МДАУ, 2008. – Випуск 4 (47) – С. 193 – 205.

3. Захаркін О.У. Технологічні основи машинобудування: Навчально-методичний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2004. - 98 с.

4. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навчальний посібник. – Київ: Вища школа, 1993. – 414 с.

Исследования и разработка технологии и устройств для восстановления стальных деталей поверхностным пластическим деформированием. Е.В. Прокопчук, В.И. Гавриш, Д.Д. Марченко

В статье приведены исследования и разработка технологии и устройств для восстановления стальных деталей поверхностным пластическим деформированием. Было предложено технологию восстановления стальных деталей с помощью поверхностного пластического деформирования, что позволило повысить их долговечность.

Research and development of technologies and devices for the recovery of steel parts by surface plastic deformation. E.V. Prokopchuk, V.I. Gavrish, D.D. Marchenko

The article presents the research and development of technologies and devices for the recovery of steel parts by surface plastic deformation. It was suggested that the technology recovery of steel parts by surface plastic deformation, thus improving their durability.

ЗМІСТ

Е.Ф. Кудина, Г.Г. Печерский, Н.С. Полещук. Получение и свойства гелеобразующих нанкомпозитов.....	5
Н.В. Кьен, Н.В. Цыкало. Реализация методов моделирования корпусных деталей в системе SAPS.....	16
С.И. Корягин, С.В. Буйлов, Е.С. Минкова, С.И. Пелевин. Исследование трещиностойкости клеевых соединений при кратковременном статическом нагружении.....	19
А.И. Гарост. Повышение износостойкости литых деталей методом прямого поверхностного легирования.....	25
В.А. Лойко, В.С. Ивашко. Метариал и технология нанесения покрытий на режущий инструмент для лезвийной обработки поверхностей, востоновленных наплавкой или напылением.....	31
В.А. Лиопо, В.А. Струк, А.Н. Сенько, Е.В. Овчинников, С.В. Авдейчик. К механизму формирования зарядовая мозаика на поверхности металлических поликристаллов.....	44
Б.Х. Каримов Фотовольтаический эффект в кубических кристаллах.....	55
С.С. Череповский, А.С. Череповская. Физические предпосылки к проектированию эффективной индукторной системы високовольтного технологического оборудования для магнитно-импульсной обработки расплава силуминов.....	59
І.В. Чернов, Я.О. Шадзінський, О.А. Горбенко. Аналіз технологічного процесу виробництва комбікормів з вдосконаленням конструкції подрібнювача зерна.....	68
О.М. Євтушенко, С.С. Дребет, А.А. Миргородський, О.А. Горбенко. Аналіх технологічного процесу переробки олійних культур з попередньою екструзійною підготовкою сировини.....	71
О.О. Кропивницький, А.В. Глебов, О.А. Горбенко. Аналіз відомих технологій виробництва крупи гречаної.....	76
А.Д. Полудень, О.О. Стрюк, В.С. Некрасо, О.А. Горбенко. Обгрунтування конструктивних та режимних параметрів дробарки фуражного зерна.....	83
П.П. Солодовник. Аналіз датчиків температури для автоматизації технологічного процесу пастеризації молока.....	87
І.В. Стрельченко, С.М. Кушніренко, А.В. Юрескул, О.А. Горбенко. Аналіз способів сушіння зерна.....	93
І.Г. Тарасов, Ю.П. Поколюк, О.А. Горбенко. Аналіз технологічного процесу виробництва ячмінного борошна.....	100
Д.О. Захаров, В.І. Царик. Особливості конструкції озонаторів для озонування яєць в період інкубації.....	106
М.Ю. Шатохин, В.А. Водолага, Е.О. Бузоверя, О.С. Гайдучик. Автоматическое регулирование содержания воды в водотопливных эмульсиях.....	111

О.І. Анікєєв, Ю.О. Сердюк. Вплив кінематичної довжини агрегату на його продуктивність.....	116
Б.И. Бутаков, В.А. Артюх, С.С. Креминский. Устранение волнистости при обкатывании деталей роликами.....	123
Д.О. Захаров. Аналіз підходів до визначення концентрації озону гнереованого в полі високочастотного коронного розряду.....	138
О.С. Кириченко. Дослідження ізоляторів і струмопровідних шин на електродинамічну стійкість при коротких замиканнях.....	141
В.В. Корсун, О.С. Садовий, І.В. Петров. Вплив кольору освітлення на життєвий цикл птиці.....	144
Д.Д. Марченко. Моделювання контактної взаємодії при роботі сталевих канатного блоку і канату.....	150
О.О. Плахтир, О.В. Рябоконт. Напрямок удосконалення перетворювальних трансформаторів на основі просторових електромагнітних систем.....	162
В.А. Войтов, Б.М. Цимбал. Дослідження тріботехнічних процесів на поверхнях тертя трібосистем екструдера ЕВ-350 ТА ЕВ-350М.....	171
О.І. Анікєєв, К.Г. Сировицький, А.Р. Коваль. Розробка алгоритмів для забезпечення процесів ефективного системи збирання врожаю з використанням елементів агрології.....	185
О.М. Шаніна, С.М. Мінченко, Т.В. Гавриш. Регулювання реологічних властивостей безглютенового тіста.....	194
А.А. Купин. Перспективы производства и использования биогаза в Украине.....	201
І.О. Доброхлоп, О.С. Кириченко. Розробка електротехнологічної установки сепарації молока з рекуперацією енергії в мережу.....	207
К.В. Чаплига, О.С. Кириченко. Енергоефективна установка сушіння зерна.....	210
А.Д. Полудень, О.О. Стрюк, О.А. Горбенко. Обґрунтування конструктивних та режимних параметрів дробарки фуражного зерна..	212
О.А. Горбенко, І.В. Чернов, Я.О. Шадзінський. Аналіз технологічного процесу виробництва комбікормів з вдосконаленням конструкції подрібнювача зерна.....	216
О.В. Прокопчук, В.І. Гавриш, Д.Д. Марченко. Дослідження та розробка технології і пристроїв для відновлення сталевих деталей поверхневим пластичним деформуванням.....	221

Наукове видання

ПЕРСПЕКТИВНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ – 2016

Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції
молодих учених, аспірантів і студентів,
20-22 вересня 2016 р.
м. Миколаїв

Технічні редактори: Д.Д. Марченко

Комп'ютерна верстка: Д.Д. Марченко

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 217,62
Тираж 200 прим. Зам. №1.9/2016

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе (Паризької комуни), 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №4490 від 20.02.2013 р.