МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И СПОРТА
АВТОНОМНОЙ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ
РЕСПУБЛИКАНСКОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«КРЫМСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ КРЫМСКОГО ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 29

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Симферополь
2011

Свидетельство о государственной регистрации печатного средства массовой информации выдано Государственным комитетом телевидения и радиовещания Украины 12.01.2006 г. Серия КВ № 10833.

Сборник включен в перечень научных специальных изданий.
Постановление президиума ВАК Украины № 1-05/2 от 10.03.2010 г.

Редакционная коллегия:

Якубов Ф. Я., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Узбекистана, заслуженный работник народного образования Украины (главный редактор)
Кропотова Н. В., к.х.н., доцент, проректор по научной работе (зам. главного редактора)
Абдулгазис У. А., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники АРК (зам. главного редактора)
Бабицкий Л. Ф., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники АРК
Подригало М. А., д.т.н., профессор, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники
Шмигальский В. Н., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины
Полянский А. С., д.т.н., профессор
Волков В. П., д.т.н., профессор

Фазылова А. Р. (ответственный редактор)

Печатается по решению Ученого совета Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет». Протокол № 3 от 31.10.2011 г.

Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Выпуск 29. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2011. – 106 с.

В сборник включены статьи по инженерно-техническим направлениям научно-исследовательской деятельности, подготовленные профессорско-преподавательским составом, научными работниками, аспирантами и студентами Крымского инженерно-педагогического университета, а также других вузов.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Друкується за рішенням Вченої ради Республіканського вищого навчального закладу «Кримський інженерно-педагогічний університет». Протокол № 3 від 31.10.2011 р.

Вчені записки Кримського інженерно-педагогічного університету. Випуск 29. Технічні науки. – Сімферополь : НІЦ КІПУ, 2011. – 106 с.

У збірник вміщено статті з інженерно-технічних напрямів науково-дослідної діяльності, які підготовлені професорсько-викладацьким складом, науковцями, аспірантами, студентами Кримського інженерно-педагогічного університету, а також інших ВНЗ.

Для науковців, викладачів, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

©НИЦ КИПУ, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Поздравляем юбиляра …….. 5

Раздел 1. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА

Подригало М. А., Клец Д. М., Абрамов Д. В., Коробко А. И., Мостовая А. Н., Тесля В. О. Определение параметров выбега автомобиля, применяемых при дальнейшем расчете мощности двигателя в процессе его движения …….. 6

Аметов И. Э., Оболонский В. В. Пиролиз резины методом «внутреннего нагрева» …….. 8

Подригало М. А., Холодов М. П. Влияние распределения тормозных сил между осями на устойчивость колесных машин при заносе ……. 11

Тамаргазін О. А., Ліннік І. І. Узгодження характеристик планера і силової установки в процесі синтезу авіаційного комплексу …… 16

Тамаргазін О. А., Крамаренко Т. Ю. Вплив якості роботи систем на ефективність їх функціонування …… 21

Тамаргазін О. А., Олег М. В. Аналіз методів прогнозування характеристик літальних апаратів …….. 26

Абдулгазис А. У., Феватов С. А., Мамутов Р. Р., Ислямов И. С., Шемиев С. Б. Стендовое определение износа шин ……. 29

Подзноев Г. П., Абдулгазис У. А., Абдулгазис А. У. Особенности термодинамического цикла поршневого двухтактного электрогенератора с использованием солнечной энергии ……... 32

Раздел 2. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Подригало Н. М. Усовершенствование алгоритма проектирования зубчатой пары в графическом пакете Autodesk Inventor …….. 38

Менумеров Э. Р., Якубов Ч. Ф., Аметов И. Э. Изменение реологических свойств СОТС растительной природы за счет их модифицирования ……..….. 40

Хабрат Н. И., Умеров Э. Д. Определение основных параметров самонатяжной реверсивной ременной передачи ……... 45

Подзноев Г. П., Зубков А. А., Шуленина З. М. Физико-химические особенности переработки карбонатных руд марганца ……. 49

Ягьяев Э. Э., Шрон Л. Б., Джемилов Э. Ш. Обнаружение отклонений параметров технологической системы процесса шлифования …… 56

Ягьяев Э. Э., Шрон Б. Л. Методика исследования концентрации напряжений в деталях с геометрической неоднородностью ……... 59

Абдулгазис Д. У., Умеров Э. Д. Стендовая и станочная оценка эффективности эндотермической масляной СОТС …….. 62

Раздел 3. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В. Обоснование имитационной модели для эффективного использования передвижных технических сервисных средств в АПК Украины ……..……. 68

Бекиров Р. Н., Бекиров Л. Р. Оптимизация характеристик технических средств, обеспечивающих послеуборочное хранение хлопка-сырца ……..…… 73

Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В. Обоснование эффективности технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники в процессе длительной эксплуатации ……..… 77

Раздел 4. ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ТРУДА И ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Абитова Ш. Ю., Абильтарова Э. Н. Анализ производственного травматизма в зависимости от причин возникновения ……. 82

Кулалаєва Н. В., Михайлюк В. О. Інженерні підходи до зниження забруднення гідросфери нафтопродуктами пересувними засобами …… 86

Раздел 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Сироджа И. Б., Постернакова В. А., Сейдаметов Г. С. Принятие решений средствами инженерии квантов знаний в условиях многокритериальнности и неопределённости ……... 91

Сироджа И. Б., Зевриев Т. Я. Обучение квантовой сети вывода решений в инженерии квантов знаний ……..…. 96

Наши авторы ……. 103

ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА

26 октября 2011 года исполняется 60 лет со дня рождения
ПОДРИГАЛО МИХАИЛА АБОВИЧА,
доктора технических наук, профессора, академика Академии наук высшего образования Украины, лауреата Государственной премии Украины, заведующего кафедрой технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (ХНАДУ)

Профессор Михаил Абович Подригало – известный ученый в области теории и рабочих процессов автомобилей и тракторов. Автор около 400 научных работ, в том числе 12 монографий, свыше 30 учебно-методических работ, в том числе 6 учебных пособий, из которых 2 – с грифом Министерства образования и науки Украины, и 54 патентов и авторских свидетельств на изобретения. Подготовил 4 докторов и 15 кандидатов наук. Имеет большой опыт научной и педагогической работы, весомые достижения в научно-педагогической деятельности. В разные годы работал в 4-х специализированных ученых советах, в 2000–2004 гг. был членом Экспертного совета по транспорту ВАК Украины. Действительный член Транспортной академии Украины, академик-секретарь отделения «Автомобильный транспорт» северно-восточного Центра ТАУ.

В ХНАДУ М. А. Подригало создал и возглавляет научную школу «Функциональная стабильность автомобилей и тракторов». Читает основные и специальные курсы, руководит научной работой магистров и аспирантов, консультирует докторантов, член редколлегий 6 профессиональных журналов и научных сборников. Кафедра, которую возглавляет Михаил Абович, имеет 6 докторов и 16 кандидатов наук. На кафедре осуществляется подготовка специалистов по специальностям: автомобили и автомобильное хозяйство; колесные и гусеничные транспортные средства; двигатели внутреннего сгорания; подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование; профессиональное образование по профилям «метрология, стандартизация и сертификация» и «транспорт».

М. А. Подригало – ученый, глубоко преданный науке, ценитель университетских традиций, почитатель доброго и искрометного юмора, человек целеустремленного характера. Слова ***дружба***, ***учитель***, ***благодарность***, ***уважение*** *у него всегда наполнены содержанием.*

Коллектив РВУЗ «Крымский инженерно-педагогический университет» и редколлегия научного сборника «Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета» от души поздравляют Михаила Абовича Подригало с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, неиссякаемой энергии, благополучия, успеха во всех начинаниях!

РАЗДЕЛ 1. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА

УДК 621.793.7

Подригало М. А., Клец Д. М., Абрамов Д. В.,
Коробко А. И., Мостовая А. Н., Тесля В. О.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫБЕГА АВТОМОБИЛЯ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ДАЛЬНЕЙШЕМ РАСЧЕТЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ДВИЖЕНИЯ

Визначено коефіцієнти рівняння динаміки автомобіля, що характеризує процес його вибігу. Параметри, отримані при вибігу автомобіля, в подальшому можуть бути використані для розрахунку потужності його двигуна безпосередньо в умовах руху.

Ключові слова: *автомобіль, динаміка, вибіг, сила опору, потужність двигуна.*

Определены коэффициенты уравнения динамики автомобиля, характеризующего процесс его выбега. Параметры, полученные при выбеге автомобиля, в дальнейшем могут быть использованы для расчета мощности его двигателя непосредственно в условиях движения.

Ключевые слова: *автомобиль, динамика, выбег, сила сопротивления, мощность двигателя.*

The coefficients of equation vehicle dynamics, characterizes the process of coasting. The parameters obtained by coasting the vehicle, and can later be used to calculate the power of its engine directly driving conditions.

Key words: *vehicle dynamics, coast down, drag force, engine power.*

Постановка проблемы. Известные способы определения мощности двигателя автомобиля основаны на использовании стендовых испытаний. Недостатком таких способов является необходимость проведения стендовых испытаний в стационарных условиях. В данной статье закладываются предпосылки для определения мощности двигателя автомобиля непосредственно в условиях эксплуатации.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] определения параметров сопротивления движению осуществлялось путем решения системы алгебраических уравнений, полученных из дифференциального уравнения движения автомобиля при выбеге:

$$m_а \dot{V}_а = -m_а g\psi - KFV_а^2, \qquad (1)$$

где $m_а$ – общая масса автомобиля;

$\dot{V}_а$ – линейное ускорение автомобиля при выбеге;

g – ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с^2;

ψ – суммарный коэффициент дорожного сопротивления:

$$\psi = f \pm i, \qquad (2)$$

где f – коэффициент сопротивления качения колес;

i – продольный уклон дороги;

KF – фактор сопротивления воздуха (K – коэффициент сопротивления воздуха, F – мидель);

$V_а$ – линейная скорость автомобиля.

Целью данной **статьи** является определение параметров, необходимых для мониторинга мощности двигателя автомобиля в процессе его движения.

Изложение основного материала. При выбеге автомобиля момент сопротивления вращению колес, создаваемый в трансмиссии автомобиля, приводится к суммарному коэффициенту сопротивления вращения колес:

$$\psi' = \psi + \Delta\psi, \qquad (3)$$

где $\Delta\psi$ – дополнительный коэффициент сопротивления вращению колес, обусловленный моментом сопротивления в трансмиссии,

$$\Delta\psi = \frac{M_{ТР}^{С}}{r_д m_а g}, \qquad (4)$$

где $M_{ТР}^{С}$ – момент сопротивления вращению колес, обусловленный сопротивлением вращению валов трансмиссии,

$$M_{ТР}^{С} = M_{ТР\,СТ}^{С} + M_{ТР\,КИН}^{С} + M_{ТР\,ДИН}^{С}, \qquad (5)$$

где $M_{ТР\,СТ}^{С}$ – момент сопротивления в трансмиссии статистический, обусловленный силой сухого трения;

$M_{ТР\,КИН}^{С}$ – момент сопротивления в трансмиссии, обусловленный силами гидравлического сопротивления масла в картерах коробки передач и главной передачи (кинематический), величина указанного момента зависит от скорости автомобиля;

$M_{ТР\,ДИН}^{С}$ – инерционный момент в трансмиссии, учитывающий влияние кинетического ускорения автомобиля (динамический);

$r_д$ – динамический радиус ведущих колес.

Все компоненты момента сопротивления трансмиссии являются приведенными к ведущим колесам. Указанные компоненты можно определить при выбеге следующим образом:

$$M^{\text{С}}_{\text{ТР СТ}} = \text{const}\ , \qquad (6)$$

$$M^{\text{С}}_{\text{ТР КИН}} = K_1 \cdot V_{\text{а}}\,, \qquad (7)$$

$$M^{\text{С}}_{\text{ТР ДИН}} = -\frac{I_{\text{пр}}}{r_{\text{д}}} \cdot \dot{V}_{\text{а}}\,, \qquad (8)$$

где K_1 – коэффициент пропорциональности между скоростью $V_{\text{а}}$ автомобиля и кинематическим моментом сопротивления в трансмиссии (зависит от величины динамической вязкости трансмиссионного масла, меняющейся при изменении температуры);

$I_{\text{пр}}$ – приведенный к ведущим колесам момент инерции трансмиссии.

После подстановки выражений (3)–(8) в уравнение (1), разделив левую и правую часть последнего на $m_{\text{а}}$, получим:

$$\dot{V}_{\text{а}} = -g(f \pm i) - \frac{M^{\text{С}}_{\text{ТР СТ}}}{m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}} - \frac{K_1}{m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}} \cdot V_{\text{а}} + \frac{I_{\text{пр}}}{m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}} \cdot \dot{V}_{\text{а}} - \frac{KF}{m_{\text{а}}} V_{\text{а}}^2 \,. \qquad (9)$$

Преобразуем последнее выражение к виду:

$$\dot{V}_{\text{а}} = -\frac{g}{1 - \dfrac{I_{\text{пр}}}{m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}^2}} \cdot \left(f \pm i + \frac{M^{\text{С}}_{\text{ТР СТ}}}{g \cdot m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}} \right) - \frac{K_1}{m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}} \left(1 - \dfrac{I_{\text{пр}}}{m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}^2} \right)} \cdot V_{\text{а}} - \frac{\dfrac{KF}{m_{\text{а}}}}{1 - \dfrac{I_{\text{пр}}}{m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}^2}} \cdot V_{\text{а}}^2 \qquad (10)$$

Известно [2], что коэффициент сопротивления качению колеса автомобиля вырастает с ростом линейной скорости $V_{\text{а}}$ автомобиля и определяется зависимостью

$$f = f_0 \cdot (1 + A \cdot V_{\text{а}}^2)\,, \qquad (11)$$

где f_0 – коэффициент сопротивления качению при движении автомобиля со скоростью $V_{\text{а}}^2 < 16{,}7$ м/с (60 км/ч);

A – коэффициент, учитывающий влияние квадрата линейной скорости $V_{\text{а}}^2$ автомобиля на величину f.

Выражение (10) с учетом (11) примет вид:

$$\dot{V}_{\text{а}} = -\frac{g}{1 - \dfrac{I_{\text{пр}}}{m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}^2}} \cdot \left(f_0 \pm i + \frac{M^{\text{С}}_{\text{ТР СТ}}}{g \cdot m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}} \right) - \frac{\dfrac{K_1}{m_{\text{а}}}}{\left(1 - \dfrac{I_{\text{пр}}}{m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}^2} \right) \cdot \mu_{\text{д}}} \cdot V_{\text{а}} - \frac{\dfrac{KF}{m_{\text{а}}} + f_0 \cdot A \cdot g}{1 - \dfrac{I_{\text{пр}}}{m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}^2}} \cdot V_{\text{а}}^2 \qquad (12)$$

Величина

$$\delta_{\text{выб}} = 1 - \frac{I_{\text{пр}}}{m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}^2} \qquad (13)$$

представляет собой коэффициент учета влияния вращающихся масс трансмиссии и двигателя на ускорение автомобиля при выбеге.

Коэффициент учета вращающихся масс автомобиля при разгоне определяется известной зависимостью [2; 3]:

$$\delta_{\text{р}} = 1 + \frac{I_{\text{пр}}}{m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}^2} = 1{,}03 + 0{,}05 \cdot U_K^2\,, \qquad (14)$$

где U_K – передаточное число коробки передач.

Сравнивая (13) и (14), получаем:

$$\delta_{\text{выб}} = 2 - \delta_{\text{р}} = 0{,}97 - 0{,}05 \cdot U_K^2\,. \qquad (15)$$

При проведении испытаний необходимо составить три уравнения, соответствующие трём моментам времени t_1, t_2, t_3, отстоящим друг от друга на величину шага Δt:

$$t_3 = t_2 + \Delta t = t_1 + 2\Delta t. \qquad (16)$$

$$\begin{cases} \dot{V}_{\text{а}_1} = -a_1 - a_2 V_{\text{а}_1} - a_3 V_{\text{а}_1}^2 - & (17) \\ \text{для момента времени } t_1, & \\ \dot{V}_{\text{а}_2} = -a_1 - a_2 V_{\text{а}_2} - a_3 V_{\text{а}_2}^2 - & (18) \\ \text{для момента времени } t_2, & \\ \dot{V}_{\text{а}_3} = -a_1 - a_2 V_{\text{а}_3} - a_3 V_{\text{а}_3}^2 - & (19) \\ \text{для момента времени } t_3, & \end{cases}$$

где a_1, a_2, a_3 – коэффициенты, соответствующие среднему значению скорости $\overline{V_{\text{а}}}$ автомобиля на интервале времени $[t_1,\ldots,t_3]$, т. е.:

$$\overline{V_{\text{а}}} = \frac{V_{\text{а}_1} + V_{\text{а}_2} + V_{\text{а}_3}}{3}\,. \qquad (20)$$

Размер шага Δt следует выбирать таким образом, чтобы изменение параметров сопротивления движению автомобиля, зависящее от скорости движения, было незначительно.

Определим коэффициенты в уравнениях (17)–(19) из уравнения (12):

$$a_1 = \frac{g}{\delta_{\text{выб}}} \left(f_0 \pm i + \frac{M^{\text{С}}_{\text{ТР СТ}}}{g \cdot m_{\text{а}} \cdot r_{\text{д}}} \right), \qquad (21)$$

$$a_2 = \frac{K_1}{m_{\text{а}} \cdot \delta_{\text{выб}} \cdot r_{\text{д}}}\,, \qquad (22)$$

$$a_3 = \frac{\dfrac{KF}{m_{\text{а}}} + f_0 \cdot A \cdot g}{\delta_{\text{выб}}}\,. \qquad (23)$$

При выбеге с выключенным сцеплением (отключенным двигателем) $\delta_{\text{выб}} = 0{,}97$.

Решение системы уравнений (17)–(19) позволяет определить коэффициенты регрессии a_1, a_2, a_3:

$$a_1 = \frac{\dot{V}_{a_1} - \dot{V}_{a_2}}{V_{a_2} - V_{a_1}} - \frac{V_{a_2} + V_{a_1}}{V_{a_3} - V_{a_1}} \cdot \left(\frac{\dot{V}_{a_2} - \dot{V}_{a_3}}{V_{a_3} - V_{a_2}} - \frac{\dot{V}_{a_1} - \dot{V}_{a_2}}{V_{a_2} - V_{a_1}} \right); \quad (24)$$

$$a_2 = \dot{V}_{a_1} + \frac{\dot{V}_{a_1} \cdot \dot{V}_{a_2}}{V_{a_3} - V_{a_1}} \cdot \left(\frac{\dot{V}_{a_2} - \dot{V}_{a_3}}{V_{a_3} - V_{a_2}} - \frac{\dot{V}_{a_1} - \dot{V}_{a_2}}{V_{a_2} - V_{a_1}} \right) - V_{a_1} \frac{\dot{V}_{a_1} + \dot{V}_{a_2}}{V_{a_2} - V_{a_1}}; \quad (25)$$

$$a_3 = \frac{1}{V_{a_3} - V_{a_1}} \cdot \left(\frac{\dot{V}_{a_2} - \dot{V}_{a_3}}{V_{a_3} - V_{a_2}} - \frac{\dot{V}_{a_1} - \dot{V}_{a_2}}{V_{a_2} - V_{a_1}} \right); \quad (26)$$

Через определенный промежуток времени ΔT измерение повторяют. В результате получают линии регрессии для параметров $a_1(\overline{V_a})$; $a_2(\overline{V_a})$; $a_3(\overline{V_a})$.

Из (23) высчитываем коэффициент сопротивления воздуха:

$$K = \frac{0{,}97 \cdot a_3 - f_0 \cdot A \cdot g}{F} \cdot m_a. \quad (27)$$

Отсюда коэффициент обтекаемости:

$$C_x = \frac{2 \cdot K}{\rho}, \quad (28)$$

где ρ – плотность воздуха.

Коэффициент пропорциональности между скоростью U_a автомобиля и кинематическим моментом сопротивления в трансмиссии составляет

$$K_1 = 0{,}97 \cdot m_a \cdot a_2 \cdot r_д. \quad (29)$$

В тех случаях, когда действительное значение A неизвестно, рекомендуется [3; 4] принимать $A = 7 \cdot 10^{-6}$ с^2/м^2.

Выводы. При определении мощности двигателя автомобиля во время его движения необходимо учитывать момент сопротивления, возникающий в трансмиссии автомобиля, суммарное дорожное и аэродинамическое сопротивления.

Проведение выбега автомобиля с регистрацией значений продольных ускорений при помощи трехкоординатных датчиков ускорений позволяет определять суммарное дорожное сопротивление, аэродинамическое сопротивление, моменты сопротивления, возникающие в трансмиссии автомобиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Метод визначення сумарної сили опору руху автомобіля за допомогою датчиків лінійних прискорень / [М. А. Подригало, А. І. Коробко, Д. М. Клец, О. О. Назарко] // Наукові нотатки Луцького національного технічного університету. Міжвузівський збірник. Вип. 28. – Луцьк, 2010. – С. 432–434.
2. Бортницкий П. И. Тягово-скоростные качества автомобилей. Справочник / П. И. Бортницкий, Л. И. Горицкий, В. И. Задорожний. – К. : Вища школа, 1978. – 176 с.
3. Волков В. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля : навчальний посібник / В. П. Волков. – Харків : ХНАДУ, 2003. – 292 с.
4. BOSCH Автомобильный справочник. Первое русское издание / пер. с англ. – М. : Изд-во «За рулем», 2000. – 896 с.

УДК 504.05:678.541.1

Аметов И. Э., Оболонский В. В.

ПИРОЛИЗ РЕЗИНЫ МЕТОДОМ «ВНУТРЕННЕГО НАГРЕВА»

Наведено новий спосіб переробки гуми – методом «внутрішнього нагріву». Показано технологічну та економічну ефективність нового способу.

Ключові слова: *гума, нагрів, технічне вугілля, паливо, сірка.*

Представлен новый способ переработки резины – методом «внутреннего нагрева». Показана технологическая и экономическая эффективность нового способа.

Ключевые слова: *резина, нагрев, технический углерод, топливо, сера.*

A new method of processing of rubber is presented – by the method of the «inlying heating». Technological and economic efficiency of a new method is shown.

Key words: *rubber, heating, technical carbon, fuel, is grey.*

Постановка проблемы. По официальным данным, объем украинского рынка легковых шин в 2008 году составил 6,75 млн. штук, в 2009 году – 7–8 млн. штук [1]. В прошлом году рынок показал чрезвычайно высокие темпы роста – порядка 40% [2]. Таким образом, в Украине каждый год накапливаются миллионы тонн отработанных автомобильных колес, причем это количество постоянно растет.

Анализ литературы. Утилизация резины – одна из важнейших экологических задач современности. В промышленно развитых странах строят дорогостоящие установки для переработки резины методом пиролиза [3]. Резиновые по-

крышки первоначально режут на куски, далее загружают в особой конструкции камеру.

Наружные стенки камеры двойные, причем внешнюю стену изолируют от воздуха, а внутреннюю прогревают (обычно природным газом). При достижении определенной температуры внутри камеры (~500°С) начинается самопроизвольное разложение резины на компоненты, называемое пиролизом. Объем внутренней камеры достигает нескольких кубических метров, причем куски резины нельзя уложить плотно, поэтому прогревается впустую значительный объем воздуха. Более того, вследствие низкой теплопроводности резины, слои, расположенные ближе к центру, прогреваются плохо. Отвод продуктов пиролиза (печное топливо, горючие газы) осуществляется в несколько стадий, постепенно, то есть уходит много времени. Кроме того, воздух, присутствующий внутри камеры, окисляет часть продуктов пиролиза и снижает КПД установки в целом.

И тем не менее, все перечисленные недостатки считают неизбежным злом и тратят на переработку резины десятки тысяч долларов и дорогостоящий и невосполнимый природный газ. На наш взгляд, данная технология не выдерживает никакой критики.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод об определенном застое в области переработки резины. Существующие экспериментальные установки крайне дороги и, вдобавок, неэффективны. Следовательно, назрела необходимость в более эффективных и менее дорогих установках, позволяющих переработать резину полнее, с большим КПД и меньшими энергетическими затратами.

Цель статьи. В данной работе преследуется достижение нескольких целей. Во-первых, показать возможность осуществления пиролиза резины принципиально новым способом – методом «внутреннего нагрева». Во-вторых, провести анализ полученных продуктов пиролиза на содержание серы, определить ее преимущественное местонахождение. И, в-третьих, показать экономическую прибыльность предлагаемого метода.

Изложение основного материала. Мы предлагаем следующий путь достижения поставленной цели: нагрев резины изнутри. Достигнуть этого можно путем перемешивания резины с одновременным ее измельчением. При этом возникает процесс так называемого внутреннего трения, сопровождающийся большим выделением тепла.

Согласно теоретическим данным, резина имеет высокую вязкость при плохой теплопроводности [4; 5], а удельная теплоемкость резины [6] составляет около 0,11 [кДж/моль·К]. Следовательно, процесс перемешивания должен проводиться на большой площади поверхности трения, но при малом объеме резины. Шины автомобильных колес представляют собой плоский тороид большого диаметра и малой толщины и, следовательно, являются удобным объектом для подобного рода переработки.

Кроме того, анализ литературы позволяет теоретически рассчитать необходимое количество киловатт-часов электроэнергии для переработки определенного объема резины по следующей формуле [7, с. 338–342]:

$$W = I \cdot P \cdot t,$$

где I – сила тока, А;
P – напряжение, В;
t – время, с.

Согласно данной формуле, 1 ккал тепла соответствует 0,00116 кВт·час.

Нами создана экспериментальная установка, работающая по предложенному способу (рис. 1).

Рис. 1. Привод установки по переработке резины.

Было проведено около 15 экспериментальных запусков установки, которые показали принципиальную возможность осуществления процесса пиролиза резины данным методом. Сажа и аналог печного топлива попадали в емкость, наполненную водой. При этом сажа оседала на дно емкости, а жидкость всплывала на поверхность (рис. 2).

Рис. 2. Емкость с продуктами пиролиза резины.

Процесс нагрева резины до температуры пиролиза (~450–500°С) осуществлялся путем ее перемешивания с одновременным измельчением. При этом возникало так называемое внутреннее трение, которое сопровождалось большим выделением тепла вследствие высокой вязкости резины. Данный процесс происходил при большой площади трения, но при малом объеме резины.

Резина подавалась с небольшой скоростью к поверхности трения, истиралась, нагревалась и центробежным ускорением отбрасывалась к краю истирающего органа. Между краем истирающего органа и поверхностью корпуса аппарата расположена тонкая щель, в которой продолжалось истирание и нагрев резины, причем температура в щели резко возрастала до нужной для пиролиза температуры (более 450°С).

Продукты пиролиза (горючие газы, жидкость и частицы сажи) вылетали из тонкой щели по ободу истирающего органа в расширительную камеру, где они резко охлаждались вследствие увеличения объема в десятки раз. Температура продуктов на выходе из расширительной камеры была не больше 150–200°С. При данной температуре горючие газы и пары веществ удалялись через верхнее отверстие камеры, а сажа и нелетучие компоненты жидкости – через нижнее отверстие.

Химический анализ технического углерода показал, что содержание серы в нем составляет 0,27%. Были также определены показатели качества печного топлива. То есть, по нашим предположениям, почти вся сера, содержащаяся в резине, вылетает в качестве очень мелко диспергированного порошка вместе с горючими газами и летучими компонентами топлива.

По проведенным подсчетам, на килограмм резины образуется 40–45% сажи, 20–25% жидкости (аналог печного топлива), 30–40% газа, содержащего серу и летучие компоненты жидкости.

На 1 кВт·час мощности установки (380 В) перерабатывается приблизительно 1 кг резины, то есть стоимость переработки одного килограмма резины – 1,00 грн. Продажная стоимость одного килограмма сажи около 6,00 грн.; одного литра печного топлива – около 5,00 грн. На киловатт-час мощности образуется 400–450 г сажи (2,40–2,70 грн.) и 200–250 г топлива (1,00–1,25 грн.).

После очистки сажи от мелко измельченного железа (автомобильный корд) и фильтрации топлива (от остатков сажи и смолы) суммарная стоимость полученных продуктов (без учета стоимости металлической стружки, горючего газа, легких компонентов топлива и серы) составит 2,60–3,00 грн./кг.

Выводы.

1. Подача целых шин позволит отойти от процесса предварительного измельчения резины. Измельченный корд можно удалять магнитной сепарацией (это процесс известный). В обычном процессе пиролиза корд быстро ржавеет. При данном способе резина плотно облепляет истирающий орган и тем самым герметизирует область, где происходит пиролиз, что резко снижает процесс окисления железа и металлическая стружка не корродирует.

2. По нашему мнению, на больших установках можно снизить тепловые потери, что приведет к уменьшению затрат электрической мощности на переработку 1 кг резины. Таким образом, процесс пиролиза становится очень прибыльным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор рынка автомобильных колес Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://pro-consulting.com.ua.
2. Импорт и экспорт авто в Украину [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://whois-auto.ru.
3. О переработке автомобильных шин во Франции [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.ntds.ru/statyi/116_piroliz_pokrishek.pdf.
4. Тагер А. А. Физико-химия полимеров / А. А. Тагер. – М. : Химия, 1968. – 536 с.
5. Шур А. М. Высокомолекулярные соединения / А. М. Шур. – М. : Высшая школа, 1980. – 656 с.
6. Тугов И. И. Химия и физика полимеров / И. И. Тугов, Г. И. Кострыкина. – М. : Химия, 1989. – 432 с.
7. Поль Р. В. Механика, акустика и учение о теплоте / Р. В. Поль ; под ред. Н. П. Суворова. – М. : Государственное изд-во технико-теоретической литры, 1957. – 484 с.

УДК 629.114

Подригало М. А., Холодов М. П.

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ СИЛ МЕЖДУ ОСЯМИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ КОЛЕСНЫХ МАШИН ПРИ ЗАНОСЕ

Розподіл гальмівних сил між осями має суттєвий вплив на гальмівні властивості колісних машин, у тому числі на стійкість і керованість останніх при гальмуванні. У даній статті наведені результати дослідження, присвяченого раціональному вибору розподілу гальмівних сил між осями за умовою забезпечення стійкості колісних машин при заносі (динамічної стійкості) в процесі гальмування.

Ключові слова: *стійкість, занос, розподіл гальмівних сил, критична швидкість руху.*

Распределение тормозных сил между осями оказывает существенное влияние на тормозные свойства колесных машин, в том числе на устойчивость и управляемость последних при торможении. В настоящей статье приведены результаты исследования, посвященного рациональному выбору распределения тормозных сил между осями по условию обеспечения устойчивости колесных машин при заносе (динамической устойчивости) в процессе торможения.

Ключевые слова: *устойчивость, занос, распределение тормозных сил, критическая скорость движения.*

Distribution of braking forces between the axles has a significant influence on the properties of the brake wheel vehicles, including the stability and manageability of the past under braking. This article presents the results of a study on the rational choice of brake force distribution between the axles on the condition of ensuring the sustainability of wheeled vehicles for skidding (dynamic stability) during braking.

Key words: *stability, skid, brake force distribution, the critical speed.*

Постановка проблемы. Распределение тормозных сил между осями оказывает существенное влияние на тормозные свойства колесных машин, в том числе на устойчивость и управляемость последних при торможении. Проведенные многочисленные исследования, посвященные рассматриваемому вопросу, позволили сформулировать рекомендации, обеспечивающие высокие показатели тормозных свойств, управляемости и устойчивости колесных машин против заноса (статической устойчивости) за счет рационального выбора распределения тормозных сил между осями.

Анализ литературы. Определению законов распределения тормозных сил между осями двухосных автомобилей посвящено значительное количество исследований, в частности [3; 6; 7; 9].

Для того чтобы проводить оценку поведения двухосных автомобилей в процессе торможения Е. А. Чудаковым [3] определен идеальный закон распределения тормозных сил между осями, который обеспечивает, по мнению автора, одновременное доведение до грани блокирования и блокирование пе-

редних и задних колес.

Этот закон имеет вид:

$$\beta_{\text{ба}} = \frac{P_{\text{T1}}}{P_{\text{T1}} + P_{\text{T2}}} = \frac{b}{L} + \varphi\frac{h}{L}, \qquad (1)$$

где b – расстояние от задней оси до проекции центра масс автомобиля на горизонтальную плоскость;

L – продольная колесная база автомобиля;

P_{T1}, P_{T2} – суммарные тормозные силы на передней и задней осях;

φ – коэффициент сцепления колес с дорогой;

h – высота центра масс машины.

В работе [3] также показано, что распределение тормозных сил между осями, описываемое выражением (1), обеспечивает рациональное распределение тормозных сил между осями и в случае действия боковой силы, приложенной в центре масс машины. В дальнейшем в работе [8] было доказано, что зависимость (1) справедлива для относительно небольших величин боковых сил, а для всего диапазона возможных боковых сил зависимость (1) уточняется и имеет вид:

$$\beta_{\text{бл}} = \frac{b}{L}\mu_1 + \mu_2\varphi\frac{h}{L}, \qquad (2)$$

где μ_1, μ_2 – поправочные коэффициенты, зависящие от величины действующей боковой силы.

Выбору рационального постоянного распределения тормозных сил между осями $\beta_{\text{д}}$ посвящены работы [7; 8; 10]. В качестве критерия оптимизации в этих работах использовался максимальный средний коэффициент использования сцепного веса при торможении. Однако в известных работах при расчете нормальных динамических реакций на колесах автомобиля не учитывалось различие в расчетных схемах при заблокированных и незаблокированных в процессе торможения колесах. Уточнение расчетной схемы выполнено авторами статьи в исследовании [11].

Таким образом, возникла необходимость уточнения результатов всех исследований, посвященных определению распределения тормозных сил между осями и построенных на основе традиционных расчетных схем.

Для обеспечения устойчивости двухосной колесной машины против заноса необходимо предотвращение опережающего блокирования задних колес как при отсутствии, так и при действии боковых сил [1; 3–5; 7; 8; 10]. Однако в известной литературе, посвященной устойчивости автомобиля при заносе [2; 4; 5; 9], не определены рекомендации по выбору коэффициента $\beta_{\text{д}}$ для случая торможения с заблокированными задними и незаблокированными передними колесами. Эта задача также должна быть решена с учетом уточнения расчетных схем для определения динамических суммарных нормальных реакций на передних и задних колесах.

В работе [8] для малых отклонений курсового угла ψ автомобиля при торможении с заблокированными задними и незаблокированными передними колесами определены условия устойчивости автомобиля (рис. 1). В этом случае допускается, что суммарная реакция в плоскости дороги на задней оси $R_{\sum 2}$ при отклонении продольной оси автомобиля на угол ψ своего направления не меняет (на рис. 1 вектор силы $R_{\sum 2}$ показан сплошной линией).

В результате в работе [8] получено уравнение вращательного движения машины в плоскости дороги:

$$\varepsilon_z = \frac{d^2\psi}{dt} = \frac{\varphi g}{i_z^2} \times \frac{a}{1 - \beta_{\text{д}} + \varphi\frac{h}{L}} \times \left\{ \sqrt{\left[\frac{b}{L}\left(1-\beta_{\text{д}}\right) + \varphi\frac{h}{L}\right]^2 - \frac{a^2}{L^2}\beta_{\text{д}}^2 - \frac{b}{L}\left(1-\beta_{\text{д}}\right)\psi} \right\}, \qquad (3)$$

где g – ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с^2;

i_z – радиус инерции машины относительно вертикальной оси;

a – расстояние от передней оси до проекции центра масс на горизонтальную плоскость.

Уравнение (3) представляет собой линейное дифференциальное уравнение второго порядка с правой частью относительно курсового угла ψ автомобиля. Это уравнение можно представить в виде

$$\varepsilon_z = \frac{d^2\psi}{dt^2} = \varepsilon_{z0} + \frac{d^3\psi}{dt^2 \cdot d\psi} \cdot \psi, \qquad (4)$$

где ε_{z0} – начальное (при ψ = 0) угловое ускорение машины,

$$\varepsilon_{z0} = \frac{\varphi g}{i_z^2} \cdot \frac{a}{1 - \beta_{\text{д}} + \varphi\frac{h}{L}} \left\{ \sqrt{\left[\frac{b}{L}\left(1-\beta_{\text{д}}\right) + \varphi\frac{h}{L}\right]^2 - \frac{a^2}{L^2}\beta_{\text{д}}^2} \right\}; \qquad (5)$$

$\dfrac{d^3\psi}{dt^2 \cdot d\psi}$ – производная углового ускорения по углу ψ,

$$\frac{d^3\psi}{dt^2 \cdot d\psi} = \frac{d\varepsilon_z}{d\psi} = -\frac{b}{L}\left(1-\beta_{\text{д}}\right). \qquad (6)$$

Компонента ε_{z0} характеризует начальную стадию появления заноса (склонность машины к появлению и развитию заноса), а производная $\dfrac{d^3\psi}{dt^2 \cdot d\psi}$ – интенсивность развития или гашения заноса.

При принятых в работе [8] допущениях полученные результаты не учитывают влияния линейной скорости V_{x1} движения автомобиля на

показатели его курсовой устойчивости.

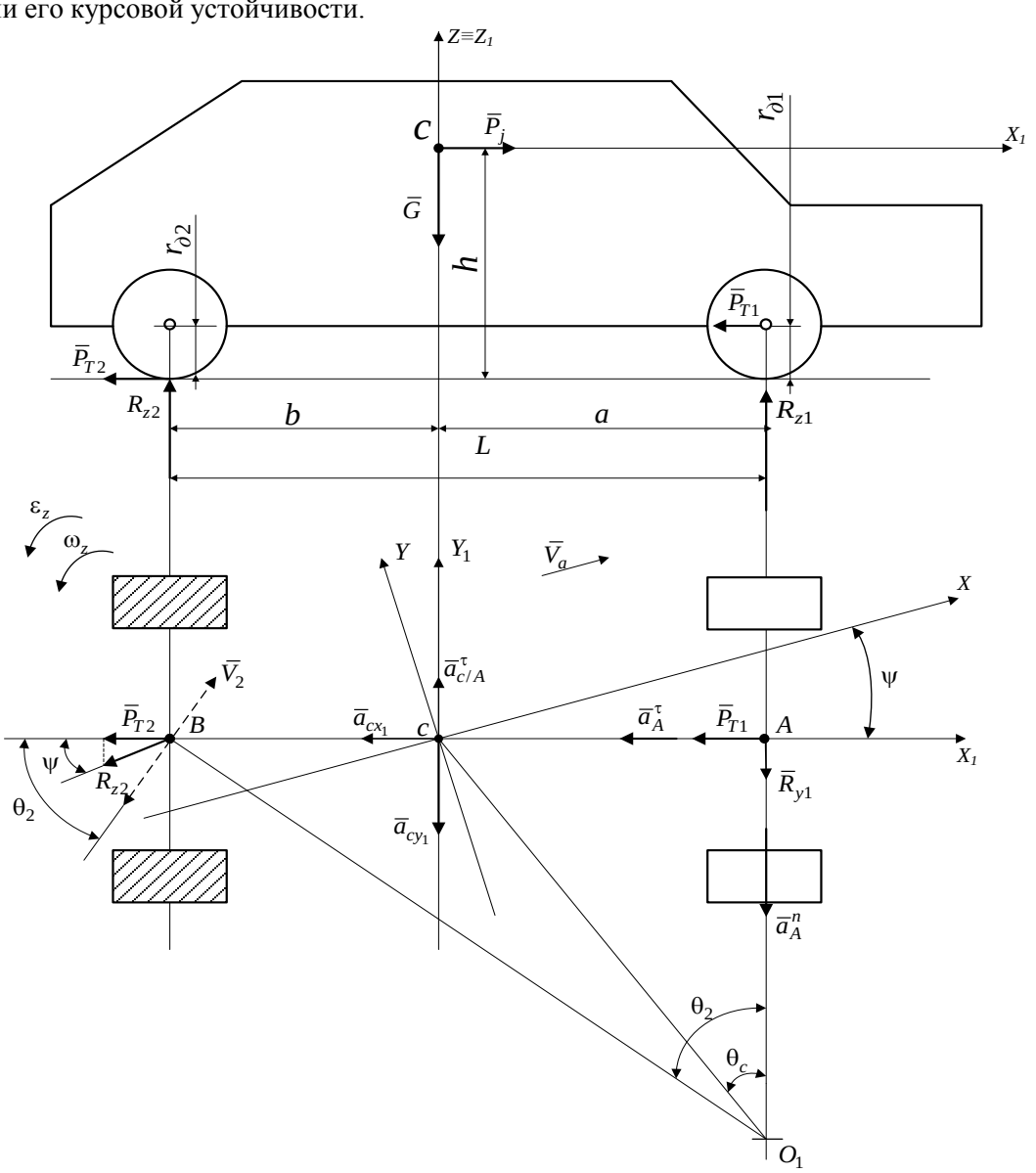

Рис. 1. Схема сил, действующих на автомобиль при заносе в процессе торможения с заблокированными задними и незаблокированными передними колесами.

При больших отклонениях курсового угла ψ (угловых скоростях ω_z вращательного движения автомобиля) необходимо рассматривать расчетную схему, предложенную Е. А. Чудаковым (см. рис. 1). В этом случае вектор суммарной реакции $R_{\Sigma 2}$ в плоскости дороги на задней оси колинеарен вектору скорости $\overline{V_2}$ точки середины задней оси, но направлен в противоположную сторону (вектор $R_{\Sigma 2}$ в этом случае на рис. 1 показан пунктирной линией). В работе [9] получено дифференциальное уравнение с использованием указанной расчетной схемы

$$\frac{d\omega_z}{dt} = \omega_{z0} \cdot \frac{a}{a^2 + i_z^2} \left(V_{x1} - \frac{\varphi g L}{1 + \frac{1}{1-\beta_д} \varphi \frac{h}{L}} \cdot \frac{1}{V_{x1}} \right), \quad (7)$$

где ω_{z0} – начальная угловая скорость машины при заносе.

Однако в работах [8; 9] при определении динамических суммарных реакций на передних и задних колесах принималось, что тормозные силы приложены в пятнах контакта колес с дорогой. Однако, как уже отмечалось [11], это справедливо только для заблокированных колес. У незаблокированных колес тормозные силы приложены на осях. На рис. 1 суммарная тормозная сила P_{T2} на задней оси приложена в плоскости контакта задних колес с дорогой, а суммарная тормозная сила P_{T1} на передней оси – в плоскости, проходящей через оси колес.

Таким образом, возникла необходимость уточнения формул для определения динамических суммарных нормальных реакций на передних и задних колесах и определения рационального по условию устойчивости при заносе рас-

пределения тормозных сил между осями колесной машины.

Цель статьи – привести результаты исследования, посвященного рациональному выбору распределения тормозных сил между осями по условию обеспечения устойчивости колесных машин при заносе (динамической устойчивости) в процессе торможения.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- уточнить расчетные формулы для динамических суммарных нормальных реакций на передней и задней осях колесной машины;
- определить рациональное распределение тормозных сил для малых отклонений курсового угла;
- определить рациональное распределение тормозных сил при значительных величинах начальной угловой скорости.

Изложение основного материала.

Уточнение суммарных нормальных реакций на передних и задних колесах. Для расчетной схемы, представленной на рис. 1, справедливы уравнения, из которых определяются динамические суммарные нормальные реакции на передней и задней осях колесной машины:

$$R_{z1} = G\cdot\frac{b}{L} - P_{\text{Т}1}\cdot\frac{h-r_{\text{д}1}}{L} + P_{\text{Т}2}\cdot\frac{h}{L}, \qquad (8)$$

$$R_{z2} = G\cdot\frac{a}{L} - P_{\text{Т}1}\cdot\frac{h-r_{\text{д}1}}{L} + P_{\text{Т}2}\cdot\frac{h}{L}, \qquad (9)$$

где G – общий вес колесной машины;

$r_{\text{д}1}$, $r_{\text{д}2}$ – динамические радиусы передних и задних колес (см. рис. 1).

При заблокированных задних колесах:

$$P_{\text{Т}2} = \varphi R_{z2}\cos\psi \approx \psi R_{z2}, \qquad (10)$$

$$P_{\text{Т}1} = \frac{\beta_{\text{д}}}{1-\beta_{\text{д}}}P_{\text{Т}2} = \frac{\beta_{\text{д}}}{1-\beta_{\text{д}}}\varphi R_{z2}. \qquad (11)$$

После подстановки соотношений (10), (11) в уравнения (8) и (9), учитывая, что $R_{z1} + R_{z2} = G$, получим

$$R_{z1} = G\cdot\frac{\dfrac{b}{L}+\varphi\dfrac{h-\beta_{\text{д}}\cdot r_{\text{д}1}}{L(1-\beta_{\text{д}})}}{1+\varphi\dfrac{h-\beta_{\text{д}}\cdot r_{\text{д}1}}{L(1-\beta_{\text{д}})}}; \qquad (12)$$

$$R_{z2} = G\cdot\frac{\dfrac{a}{L}}{1+\varphi\dfrac{h-\beta_{\text{д}}\cdot r_{\text{д}1}}{L(1-\beta_{\text{д}})}}. \qquad (13)$$

Определение рационального распределения тормозных сил при малых отклонениях курсового угла колесной машины. В этом случае уравнение вращательного движения машины в плоскости дороги имеет вид [8]:

$$I_z\frac{d\omega_z}{dt} = a\sqrt{\varphi^2 R_{z1}^2 - P_{\text{Т}1}^2} - P_{\text{Т}2}b\psi, \qquad (14)$$

где I_z – момент инерции колесной машины относительно центральной вертикальной оси,

$$I_z = \frac{G}{g}i_z^2. \qquad (15)$$

После подстановки выражений (10)–(13) в уравнение (14) и преобразований получим:

$$\frac{d\omega_z}{dt} = \frac{\dfrac{\varphi g a}{i_z^2}}{1+\varphi\dfrac{h}{L}-\beta_{\text{д}}\left(1+\varphi\dfrac{r_{\text{д}1}}{L}\right)}\times\left\{\sqrt{\left[\frac{b}{L}+\varphi\frac{h}{L}-\beta_{\text{д}}\left(\frac{b}{L}+\varphi\frac{r_{\text{д}1}}{L}\right)\right]^2-\frac{a^2}{L^2}\beta_{\text{д}}^2}-\frac{b}{L}(1-\beta_{\text{д}})\psi\right\} \qquad (16)$$

При $r_{\text{д}1} = 0$ уравнение (16) приводится к (3).

Очевидно, что в данном случае начальное угловое ускорение

$$\varepsilon_{z0} = \frac{\dfrac{\varphi g a}{i_z^2}}{1+\varphi\dfrac{h}{L}-\beta_{\text{д}}\left(1+\varphi\dfrac{r_{\text{д}1}}{L}\right)}\sqrt{\left[\frac{b}{L}+\varphi\frac{h}{L}-\beta_{\text{д}}\left(\frac{b}{L}+\varphi\frac{r_{\text{д}1}}{L}\right)\right]^2-\frac{a^2}{L^2}\beta_{\text{д}}^2} \qquad (17)$$

будет меньше, чем определяемое по формуле (5).

Занос развиваться не будет, если $\varepsilon_{z0} = 0$. Это возможно в случае, при котором подкоренное выражение в правой части уравнения (17) будет равно нулю:

$$\left[\frac{b}{L}+\varphi\frac{h}{L}-\beta_{\text{д}}\left(\frac{b}{L}+\varphi\frac{r_{\text{д}1}}{L}\right)\right]^2-\frac{a^2}{L^2}\beta_{\text{д}}^2 = 0. \qquad (18)$$

Решение уравнения (18) имеем в виде

$$\beta_{\text{д}} = \frac{\dfrac{b}{L}+\varphi\dfrac{h}{L}}{1+\varphi\dfrac{r_{\text{д}1}}{L}}. \qquad (19)$$

Полученный результат соответствует распределению тормозных сил между осями, при котором задние колеса заблокированы, а передние находятся на грани блокирования. В этом случае возможная боковая сила, возникающая в контакте передних колес с дорогой и вызываю-

щая занос, будет равна нулю.

Определение рационального распределения тормозных сил при значительных величинах начальной угловой скорости. Движение автомобиля при заносе с заблокированными задними и незаблокированными передними колесами (рис.) описывается следующей системой уравнений [9]:

$$\begin{cases} m\cdot a_{cx1} = -P_{T1} - R_{\Sigma 2}\cos\theta_2 \approx -P_{T1} - R_{\Sigma 4}; & (20) \\ m\cdot a_{cy1} = -R_{y1} - R_{\Sigma 2}\sin\theta_2 \approx -R_{y1} - R_{\Sigma 2}\theta_2; & (21) \\ I_z \dfrac{d^2\psi}{dt} = R_{y1}a - R_{\Sigma 2}b\sin\theta_2 \approx -R_{y1}a - R_{\Sigma 2}b\theta_2, & (22) \end{cases}$$

где m – общая масса колесной машины, $m = G/g$.

Определим величину R_{y1}. При этом необходимо учитывать следующие соотношения

$$a_{cy1} = -a_A^n + \varepsilon_z \cdot a, \qquad (23)$$

$$a_A^n = V_{x1}\cdot\omega_z, \qquad (24)$$

где a_A^n – нормальное ускорение точки середины передней оси машины при движении по кривой радиусом $r_A = \overline{AO_1}$.

Из уравнений (21), (22) с учетом выражений (23), (24) получим:

$$R_{y1} = R_{\Sigma 2}\cdot\theta_2\frac{ab - i_z^2}{a^2 + i_z^2} + m\frac{V_{x1}\cdot\omega}{1 + \dfrac{a^2}{i_z^2}}. \qquad (25)$$

При определении суммарных динамических нормальных реакций принимается допущение, аналогичное принятому в уравнении (10), т. е.:

$$P_{T2} = \varphi R_{z2}\cdot\cos\theta_2 = \approx \varphi R_{z2} = R_{\Sigma 2} \qquad (26)$$

Поле подстановки выражения (13) в уравнение (25) с учетом соотношения (см. рис. 1)

$$\theta_2 = \frac{L}{\overline{O_1A}} = \frac{L}{V_{x1}}\cdot\omega_z \qquad (27)$$

получим:

$$R_{y1} = \omega_z\frac{m}{1 + \dfrac{a^2}{i_z^2}}\left[V_{x1} + \frac{\varphi g a}{1 + \varphi\dfrac{h - \beta_д\cdot r_{д1}}{L(1-\beta_д)}}\cdot\frac{\dfrac{ab}{i_z^2} - 1}{V_{x1}}\right]. \qquad (28)$$

После подстановки выражений для $R_{\Sigma 2}$ и R_{y1} в уравнение (22) получим:

$$\frac{d\omega_z}{dt} = \omega_z\frac{a}{a^2 + i_z^2}\left[V_{x1} - \frac{\varphi g L}{1 + \varphi\dfrac{h - \beta_д\cdot r_{д1}}{L(1-\beta_д)}}\cdot\frac{1}{V_{x1}}\right]. \qquad (29)$$

В начальный момент времени $\omega_z = \omega_{z0}$. Угловое ускорение $\varepsilon_z = \dfrac{d\omega_z}{dt}$ будет равно нулю при любом ω_z случае:

$$V_{x1} - \frac{\varphi g L}{1 + \varphi\dfrac{h - \beta_д\cdot r_{д1}}{L(1-\beta_д)}}\cdot\frac{1}{V_{x1}} = 0. \qquad (30)$$

Из выражения (30) определим коэффициент распределения тормозных сил между осями, обеспечивающий $\dfrac{d\omega_z}{dt} = 0$:

$$\beta_д = \frac{1 + \varphi\dfrac{h}{L} - \dfrac{\varphi g a}{V_{x1}^2}}{1 + \varphi\dfrac{r_{д1}}{L} - \dfrac{\varphi g a}{V_{x1}^2}}. \qquad (31)$$

Анализ уравнения (31) показывает, что выполнение условия $\dfrac{d\omega_z}{dt} = 0$ невозможно, поскольку получить из уравнения (31) значение $\beta_д \le 1$ можно только при $h \le r_{д1}$.

Из выражения (29) определим предельную линейную скорость машины, ниже которой $\dfrac{d\omega_z}{dt} \le 0$:

$$V_{x1} \le V_{пр} = \sqrt{\frac{\varphi g L(1-\beta_д)}{1 - \beta_д + \varphi\dfrac{h - \beta_д\cdot r_{д1}}{L}}}. \qquad (32)$$

В табл. 1 приведены значения предельной скорости $V_{пр}$ для условного автомобиля с параметрами L = 2м; h = 0,5 м; $r_{д1}$ = 0,3 м при φ=0, рассчитанные для различных значений β_g.

Таблица 1.

Зависимость предельной скорости автомобиля от коэффициента распределения тормозных сил.

$\beta_д$	0	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
V_{x1}, м/с	3,62	3,77	3,60	3,59	3,58	3,57

Анализ результатов расчета (см. табл. 1) показывает, что коэффициент распределения тормозных сил практически не оказывает влияния на величину предельной линейной скорости машины по условию устойчивости при заносе. Для условного автомобиля эта скорость $V_{пр}$ составляет ≈ 3,6 м/с (13 км/ч).

Таким образом, при значительных начальных угловых скоростях распределение тормозных сил между осями не оказывает влияния на устойчивость колесных машин против заноса. В начальный момент времени, при θ_2 = 0, действует начальное угловое ускорение (угловая скорость ω_z еще не приняла своего максимального значения)

$$\varepsilon_{z0} = R_{y1}\cdot a/I_z. \qquad (33)$$

Указанное ускорение ε_{z0} = 0 при R_{y1} = 0.

Это возможно при

$$\sqrt{\varphi^2 R_{z1}^2 - P_{T1}^2} = 0. \qquad (34)$$

Подставляя выражение (8), (11) в (34), с

учетом (9) и (10), получим:

$$\sqrt{\left[\frac{b}{L}+\varphi\frac{h}{L}-\beta_{д}\left(\frac{b}{L}+\varphi\frac{r_{д1}}{L}\right)\right]^2-\frac{a^2}{L}\beta_{д}^2}=0\,. \quad (35)$$

Из уравнения (35) определим зависимость (19) для $\beta_д$. Таким образом, при распределении тормозных сил между осями, выбранном в соответствии с зависимостью (19), обеспечивается близкое к нулю начальное угловое ускорение машины при возникновении условий для появления заноса (блокировании задних колес). Выражение (19) необходимо учитывать при проектировании тормозного управления колесных машин.

Выводы.

1. При заносе в процессе торможения распределение тормозных сил между осями не оказывает влияния на показатели динамической (при заносе) устойчивости колесной машины.

2. При возникновении опасности появления заноса вследствие блокирования задних колес при незаблокированных передних колесах возможно уменьшение до нуля начального углового ускорения колесной машины путем обеспечения распределения тормозных сил между осями в соответствии с соотношением (19).

ЛИТЕРАТУРА

1. Чудаков Е. А. Устойчивость автомобиля против заноса / Е. А. Чудаков. – М. : Машгиз, 1949. – 193 с.
2. Чудаков Е. А. Устойчивость автомобиля при заносе / Е. А. Чудаков. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1945. – 144 с.
3. Чудаков Е. А. Боковая устойчивость автомобиля при торможении / Е. А. Чудаков. – М. : Машгиз, 1952. – 183 с.
4. Певзнер Я. М. Теория устойчивости автомобиля / Я. М. Певзнер. – М. : Машгиз, 1947. – 156 с.
5. Певзнер Я. М. Исследование движения автомобиля при заносе : дис. … канд. техн. наук / Я. М. Певзнер. – М. : ОНТИ, 1937. – 100 с.
6. Антонов Д. А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей / Д. А. Антонов. – М. : Машиностроение, 1978. – 216 с.
7. Булгаков Н. А. Исследование динамики торможения автомобиля / Н. А. Булгаков, А. Б. Гредескул, С. И. Ломака // Научное сообщение № 18. – Харьков : Изд-во Харьков. госуниверситета, 1962. – 36 с.
8. Подригало М. А. Устойчивость колесных машин при торможении / М. А. Подригало, В. П. Волков, В. И. Кирчатый. – Харьков : Изд-во ХГАДТУ, 1999. – 93 с.
9. Устойчивость колесных машин при заносе и способы ее повышения / [М. А. Подригало, В. П. Волков, М. В. Доброгорский] ; под ред. М. А. Подригало. – Харьков : Изд-во ХНАДУ, 2006. – 335 с.
10. Устойчивость колесных машин против заноса в процессе торможения и пути ее повышения / [М. А. Подригало, В. П. Волков, В. А. Павленко и др.] ; под ред. М. А. Подригало. – Харьков : Изд-во ХНАДУ, 2006. – 377 с.
11. Подригало М. А. Влияние блокировки колес на эффективность торможения колесных тракторов классической компоновки / М. А. Подригало, Б. В. Савченков, М. П. Холодов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. «Механізація сільськогосподарського виробництва». – 2011. – Вип. 107. – С. 22–30.

УДК 629.735.083(045)

Тамаргазін О. А., Ліннік І. І.

УЗГОДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНЕРА І СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ В ПРОЦЕСІ СИНТЕЗУ АВІАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

Розглянуто сучасні методи синтезу авіаційного комплексу на прикладі узгодження характеристик планера та силової установки. Запропонований підхід до синтезу авіаційного комплексу дозволяє описувати з необхідною точністю умови фізичної реалізації цього авіаційного комплексу.

Ключові слова: *авіаційний комплекс, силова установка, планер, інтеграція.*

Рассмотрены современные методы синтеза авиационного комплекса на примере согласования характеристик планера и силовой установки. Предложенный метод к синтезу авиационного комплекса позволяет описать с необходимой точностью условия физической реализации этого авиационного комплекса.

Ключевые слова: *авиационный комплекс, силовая установка, пленер, интеграция.*

Modern methods of synthesis of an aviation complex on an example of the coordination of characteristics of a glider and a power-plant are considered. The offered method to synthesis of an aviation complex allows to describe with necessary accuracy of a condition of physical realization of this aviation complex.

Key words: *aviation complex, power-plant, fuselage, integration.*

Постановка проблеми. Методики синтезу авіаційного комплексу (АК) зазвичай будуються

на основі виділення певних характеристик, щодо яких відбувається узгодження інших змінних. Математично це можна представити як вектор параметрів АК (y) який зазвичай ділять на вектори (m) варійовних і ($k - m$) неварійовних параметрів:

$$y = \{y_{\text{в}}, y_{\text{нв}}\}, \qquad (1)$$

де $y_{\text{в}} = \{y_1, y_2, \ldots, y_m\}$;

$y_{\text{нв}} = \{y_{m+1}, y_{m+2}, \ldots, y_k\}$.

Для поданої нижче методики синтезу АК співвідношення виду (1) вибиралися виходячи з того, що вони повинні описувати з необхідною точністю (для стадії попереднього проектування) умови фізичної реалізації АК. З метою ув'язки варійовних параметрів (y) із заданими тактико-технічними вимогами (x) визначається вектор параметрів ув'язки:

$$\Psi = \{\mu_0, p_0, m_{\text{т}}, \overline{L}_{\text{го}}, \overline{S}_{\text{го}}\}, \qquad (2)$$

де μ_0 – злітна тягоозброєність АК;

p_0 – питоме навантаження на крило;

$m_{\text{т}}$ – маса палива;

$\overline{L}_{\text{го}}$ – відносне плече горизонтального оперення АК;

$\overline{S}_{\text{го}}$ – відносна площа горизонтального оперення АК.

Система рівнянь (1) з урахуванням рівняння існування АК і відомих рівнянь динаміки польоту може бути записана в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} &\sum \xi_i(x, y) = 1 \\ &P(x, y) - X(x, y) - m_{\text{взл}}(x, y)\frac{dV}{dt} = 0 \qquad (3) \\ &\overline{x}_T(x, y) - \overline{x}_F(x, y) + m_x^{C_y} = 0 \\ &\sum M_{xj}(x, y) = 0, \end{aligned}$$

де ξ_i – відносна маса i-й підсистеми;

P – тяга силової установки;

X – лобовий опір літака;

$m_{\text{взл}}$ – нормальна злітна маса АК;

$\overline{x}_T, \overline{x}_F$ – відповідно відносні координати центру мас і фокусу АК;

$m_x^{C_y}$ – похідна коефіцієнта моменту тангажу по C_y;

M_{xj} – момент відносно осі z, який створюється j-м агрегатом.

Перше з цих рівнянь визначає умову балансу мас (рівняння існування АК), друге – балансу подовжніх сил і два останніх – умови подовжньої стійкості і балансування АК. Таким чином, в цілому дана система рівнянь відображає умови фізичної реалізації АК як літального апарату.

Система рівнянь (3), записана в загальному вигляді, може розглядатися як універсальна. Вона має бути конкретизована з врахуванням специфіки рішення конкретної задачі оптимального проектування. Іншими словами, вид і розмірність системи (3) буде залежати від вимог до змісту і точності моделі, які, у свою чергу, будуть визначати склад векторів x, y і Ψ відповідно до розв'язуваної задачі.

Мета статті – узгодження характеристик планера і силової установки в процесі синтезу авіаційного комплексу.

Виклад основного матеріалу. В основу методики синтезу АК покладена математична модель (3), яка побудована на ітераційних методах, що дозволяють отримати вирішення рівнянь (3) у випадку, якщо процес збігається. В іншому випадку (якщо процес розбігається) число ітерацій обмежується величинами $N_{m\,\max}$, $N_{k\,\max}$, $N_{s\,\max}$, де $N_{m\,\max}$, $N_{k\,\max}$, $N_{s\,\max}$ відповідно число ітерацій при визначенні величини нормальної злітної маси, оцінці подовжньої стійкості і можливості балансування. Приймемо наступні позначення: $\Delta\mu_k$, Δm_{Tk}, $\Delta L_{\text{го}k}$, $\Delta S_{\text{го}k}$ – різниця між величинами відповідно тягоозброєності, маси палива, плеча і площі горизонтального оперення, які отримані в k-й і ($k - 1$)-ій ітерації; δ_μ, δ_T, δ_L, δ_S – задана точність визначення параметрів в процесі реалізації процедури синтезу АК; x_{Ti}, y_{Ti}, z_{Ti}, – відстань від центру мас АК в цілому до центру мас i-ї його підсистеми відповідно по осях X, Y, Z.

Методика синтезу АК є ітераційною процедурою, на вхід якої подається вектор вхідних даних і початкові значення параметрів ув'язки. Якщо АК технічно реалізовується, то в результаті ітераційного перерахунку із заданою точністю буде отриманий вектор ув'язки (Ψ) і вектор параметрів (**y**). Значення їх координат визначатимуть технічний вигляд спроектованого АК: основні масові, геометричні, компонувальні параметри і льотно-технічні характеристики, що не увійшли до складу множини не варійованих параметрів. Якщо АК із заданими параметрами не реалізовується, то методика ідентифікує причину неможливості його синтезу при заданих вимогах (параметрах вектора **x**).

Основу методики складає процедура вирішення рівняння існування АК, яке у відносній формі може бути записане в наступному вигляді:

$$\xi_{\text{кон}} + \xi_{\text{су}} + \xi_{\text{т}} + \xi_{\text{с}} + \xi_{\text{эов}} = 1, \qquad (4)$$

де $\xi_{\text{кон}}$ – відносна маса конструкції;

$\xi_{\text{су}}$ – відносна маса силової установки;

$\xi_{\text{т}}$ – відносна маса палива;

$\xi_{\text{с}}$ – відносна маса систем;

$\xi_{\text{эов}}$ – відносна маса екіпажа, устаткування і корисного навантаження.

Для розрахунку нормальної злітної маси відносну масу екіпажа, устаткування і корисного

навантаження необхідно виразити через абсолютні маси:

$$\xi_{\text{эов}} = \frac{m_{\text{эов}}}{m_{\text{взл}}},\ \xi_{\text{су}} = \frac{m_{\text{су}}}{m_{\text{взл}}} \text{ і т. д.} \qquad (5)$$

Проте їх визначення вимагає наявність абсолютних значень маси підсистем і нормальної злітної маси АК, які є характеристиками, що треба визначити.

У цих умовах практично єдиним методом отримання значень мас підсистем АК є організація ітераційної обчислювальної процедури, ідея якої полягає в тому, що величина $m_{\text{эов}}$ в рівнянні (5) визначається призначенням АК і входить до числа вхідних даних. А її відносна величина характеризує один з основних показників якості АК – його масову віддачу, що оцінюється відносною масою корисного навантаження, тобто тій частині маси АК, яка визначає його здатність вирішувати завдання за призначенням.

Тоді з рівняння (4), враховуючи (5), можна отримати формулу для розрахунку нормальної злітної маси АК у першому наближенні ($m_{\text{взл}}^{(I)}$):

$$m_{\text{взл}}^{(I)} = \frac{m_{\text{эов}}}{1-(\xi_{\text{кон}} + \xi_{\text{су}} + \xi_{\text{т}} + \xi_{\text{с}})}.$$

Відносні маси конструкції, що знаходяться в знаменнику, силової установки, палива і літакових систем першого наближення, визначаються при цьому за статистикою для АК розглянутого класу.

При отриманому значенні $m_{\text{взл}}^{(\text{I})}$ розраховується наявна маса палива і дальність польоту за заданим профілем. Якщо палива не вистачає, то виконується перехід до наступної ітерації.

На наступній ітерації уточнюється злітна маса АК у другому наближенні ($m_{\text{взл}}^{(\text{II})}$) і процес повторюється. Кількість ітераційних кроків визначається заданою точністю обчислення наявної маси палива ($\delta_{\text{т}}$), при якому гарантовано виконується вимога до дальності польоту за заданим профілем, тобто:

$$\left|\left(\sum \xi_i\right)_{\text{к}} - 1\right| \le \delta_{\text{т}}.$$

Відповідна отриманій масі палива величина нормальної злітної маси і є шуканою. У результаті знаходиться рішення першого з рівнянь системи (3). Проте умова наявності рішення рівняння існування не є достатньою для синтезу АК навіть за умови виконання всіх вимог множини x. Для цього мають бути виконані не лише умови балансу мас, але й умови забезпечення стійкості і керованості АК.

Особливістю синтезу АК є те, що в процесі його аеродинамічного компонування доводиться стикатися з великою кількістю невідомих. Проте серед цієї множини є декілька змінних, величина яких більшою мірою залежить від аеродинамічної досконалості проектованого АК і визначає його основні льотно-технічні характеристики. До таких змінних відносяться питоме навантаження на крило (p_0) і злітна тягоозброєність (μ_0), чисельні значення яких визначаються геометричними параметрами АК, тяговими характеристиками його силової установки та величиною нормальної злітної маси.

Питоме навантаження на крило відображає основні геометричні параметри, яке визначає маневрені і злітно-посадочні характеристики АК. Вибір розрахункового питомого навантаження виводиться з умови

$$P_0 = \min\{p_0^{\text{взл}}, p_0^{\text{пос}}, p_0^{\text{кр}}, p_0^{\text{ман}}\},$$

де $p_0^{\text{взл}}, p_0^{\text{пос}}, p_0^{\text{кр}}, p_0^{\text{ман}}$ – відповідно питомі навантаження на крило, які необхідні для забезпечення режиму зльоту, посадки, крейсерського польоту і маневру із установленим перевантаженням.

Злітна тягоозброєність входить до числа основних проектних параметрів і визначає маневрені і злітні характеристики АК. Залежно від призначення АК вибір потрібної тягоозброєнності вибирається з умов забезпечення різних режимів польоту [1]:

- зльоту із заданою довжиною розгону ($\mu_0^{\text{взл}}$);
- набору висоти з одним двигуном, що відмовив ($\mu_0^{\text{дв}}$);
- горизонтального польоту на заданій висоті і швидкості ($\mu_0^{\text{гп}}$);
- маневру з усталеним перевантаженням ($\mu_0^{\text{ман}}$);
- набору висоти із заданою швидкопідйомністю ($\mu_0^{V_y}$);
- польоту на заданій висоті з максимальною швидкістю ($\mu_0^{V_{\max}}$).

$$\mu_0 = \max\left\{\mu_0^{\text{взл}}, \mu_0^{\text{дв}}, \mu_0^{\text{гп}}, \mu_0^{\text{ман}}, \mu_0^{V_y}, \mu_0^{V_{\max}}\right\}.$$

Аналогічно питомому навантаженню на крило при визначенні злітної тягоозброєнності в процесі синтезу АК у множину значень μ_0 може бути включене значення, що задається замовником виходячи з необхідної ефективності експлуатації.

Визначення питомого навантаження на крило і злітною тягоозброєнностю за своєю суттю є вирішенням рівняння балансу подовжніх сил в системі рівнянь (3).

Наведена вище обчислювальна процедура дозволяє отримати з допустимою для стадії попереднього проектування точністю форму і геометричні розміри АК, що є монопланом з різним

числом і варіантами розміщення двигунів, оперення і корисного навантаження. В процесі її реалізації на користь рішення рівняння існування (4) виконуються аеродинамічне (АеК), об'ємно-масове (ОМК) і конструктивно-силове компонування (КСК).

Слід зазначити, що виділення в процедурі синтезу АК наведених видів компонувань є значною мірою умовною, оскільки між параметрами, які є предметом вибору (оптимізації) тієї чи іншої компоновки, існує тісний взаємозв'язок. Так, рішення завдань ОМК та КСК неможливо без визначення розмірів АК у процесі аеродинамічного компонування. І в той же час між видами компонувань і компонуванням АК в цілому існує певна підпорядкованість – ієрархія [1]. Спочатку виконується аеродинамічна, потім об'ємно-масова і, нарешті, конструктивно-силова компоновка. За результатами компонування першого наближення вносяться необхідні корективи, і процес повторюється. Виконання цих часткових процесів підпорядковано досягненню єдиної мети – проектування АК.

Основна складність компонування полягає в задоволенні багатьох суперечливих вимог. Для максимального задоволення вимог, що висуваються до компоновки, необхідно розв'язати задачу оптимального проектування, тобто, пошуку оптимальних значень конструктивних параметрів планера АК і його силової установки. Показники, за якими виконується оптимізація, будуть залежати від специфіки розв'язуваної задачі. Так, наприклад, при синтезі регіонального літака оптимізація параметрів аеродинамічної компоновки може виконуватися на користь здобуття максимальної аеродинамічної якості ($K_{\max}$), ОМК – для здобуття максимального запасу палива ($\xi_{\text{т}}$), КСК – для досягнення мінімуму відносної маси конструкції ($\xi_{\text{кон}}$). У математичному вигляді постановки оптимізаційних задач при цьому можуть бути записані таким чином:

$$\left.\begin{aligned} y_{\text{opt}}^{\text{АэК}} &= \arg\max \\ K_{\max}\left(x, y^{\text{АэК}}, y_{\text{opt}}^{\text{ОМК}}, y_{\text{opt}}^{\text{КСК}}\right)\ y^{\text{АэК}} &\in Y_x^{\text{АэК}} \\ y_{opt}^{\text{ОМК}} &= \arg\max \\ \xi_{\text{т}}\left(x, y_{\text{opt}}^{\text{АК}}, y^{\text{ОМК}}, y_{\text{opt}}^{\text{КСК}}\right) y^{\text{ОМК}} &\in Y_x^{\text{ОМК}} \\ y_{\text{opt}}^{\text{КСК}} &= \arg\max \\ \xi_K\left(x, y_{\text{opt}}^{\text{АэК}}, y_{\text{opt}}^{\text{ОМК}}, y^{\text{КСК}}\right) y^{\text{КСК}} &\in Y_x^{\text{КСК}} \end{aligned}\right|_{x=\text{const}} \qquad (6)$$

Слід підкреслити, що задача компонування передбачає неодмінне вирішення питань ув'язки різних умов і обмежень. При синтезі АК ув'язка параметрів, що характеризують зазначені вище види компонувань, є однією з основних задач синтезу. У результаті аеродинамічного, об'ємно-масового та конструктивно-силового компонувань шляхом рішення рівнянь (6) може бути отриманий технічний вигляд АК з оптимальними конструктивними параметрами, що задовольняє пропонованим до нього вимогам.

У світлі розглянутої методики синтезу АК розглянемо рішення задач узгодження характеристик планера і силової установки (СУ) пов'язане з необхідністю врахування великої кількості взаємозв'язків між геометричними характеристиками елементів АК, з одного боку, і аеродинамічними і масовими характеристиками цих елементів, – з іншого [2]. Крім того, для вирішення таких завдань необхідно наявність висотно-швидкісних і дросельних характеристик двигунів, що плануються для встановлення на синтезованому АК.

Визначальними характеристиками двигуна при синтезі АК є тяга, питома витрата палива (висотно-швидкісні і дросельні характеристики), а також його масові та геометричні дані. Збіжність процесу синтезу АК досягається в результаті виконання умови

$$(L_{\text{зад}} - L) \le \delta_L,$$

яка еквівалентна умові

$$(m - m_{\text{т потр}}) \le \delta_{\text{т}},$$

де $L_{\text{зад}}$, L – задана оперативно-тактичними вимогами і отримана в процесі синтезу дальність польоту, відповідно;

m, $m_{\text{т потр}}$ – маса палива, отримана в процесі синтезу і потрібна для досягнення заданої дальності польоту, відповідно.

У зв'язку з цим в основу узгодження характеристик покладена залежність дальності польоту від якості планера АК, витратних характеристик його силової установки і відносної маси палива, що розміщується у внутрішніх об'ємах [2]:

$$L = 3{,}6\frac{KV}{c_R}\ln\frac{1}{1-\xi_{\text{т гп}}},$$

де K – польотна аеродинамічна якість;

V – швидкість польоту;

$\xi_{\text{т гп}}$ – відносна маса палива на горизонтальний політ;

c_R – питома витрата палива двигуна.

Максимальне значення дальності польоту може бути отримано за умови досягнення максимального значення польотної аеродинамічної якості, мінімуму питомої витрати палива двигуна і забезпечення можливості максимального збільшення відносної маси палива, що розміщується на борту АК при нормальному варіанті його завантаження. Перевірка виконання даних умов відрізнятиметься при різних підходах до вибору двигуна у складі силової установки АК,

що синтезується.

При виборі двигуна можливі два підходи:

- синтез АК виконується в припущенні, що на ньому будуть використані готові двигуни (синтез АК під існуючий двигун);
- синтез АК здійснюється за умови, що АК і його двигун розробляються одночасно.

У першому випадку (розробка АК під вже створений двигун або під двигун, розробка якого завершується) практично всі основні технічні характеристики двигуна відомі і не можуть бути змінені для поліпшення узгодженості характеристик планера і силової установки. Фактично вони виступають як обмеження в завданні синтезу АК. При цьому область можливих технічних параметрів АК з вибраним двигуном може звужуватися аж до неможливості створення літака, який має задані тактико-технічні характеристики.

Так, наприклад, вимога забезпечення маневреності проектованого АК, практично однозначно визначить його потрібну тягоозброєність. Вибір при цьому двигуна з числа тих, що існують (із доволі таки визначеними тяговими характеристиками) однозначно визначить максимальну злітну масу літака, а, отже, і його тягоозброєність. При цьому можуть виявитися не виконаними інші багаточисельні вимоги – за дальністю польоту, за масою корисного навантаження, цільового устаткування тощо. Такий варіант вибору двигуна є недопустимим, оскільки АК в цьому випадку не задовольняє ідеологічній умові існування АК, тобто не існує при заданих значеннях ТТХ.

Другий варіант має більшу перевагу з точки зору узгодженості планера і його силової установки на користь здобуття найкращих льотно-технічних даних, оскільки в цьому випадку можливе якнайповніше узгодження характеристик літака і двигуна. Проте в цьому випадку виникає технічний ризик не отримати АК в заданий програмний період, оскільки часовий цикл розробки і створення двигуна для знов проектованого АК істотно перевищує витрати часу на розробку і створення самого АК.

З викладеного вище випливає, що для розв'язання задачі раціонального синтезу АК необхідно отримати планер, що має максимально високу аеродинамічну і вагову досконалість, і силову установку малої маси з двигуном, що має малу питому витрату палива. Суперечливість наведених вище умов вимагає пошуку компромісних рішень, що, у свою чергу, обумовлює необхідність вибору параметрів, оптимізація яких дозволить досягти максимальної узгодженості планера і силової установки, та критеріїв їх оптимізації.

В якості основних параметрів узгодження характеристик планера і силової установки прийнято розглядати питоме навантаження на крило і тягоозброєність АК, які часто називаються параметрами узгодження АК. З урахуванням цього задача оптимального проектування, у тому числі оптимального узгодження характеристик елементів АК, полягає в тому, щоб бажаний результат досягався найкращим способом, який забезпечує одержання максимуму (або мінімуму) деякої цільової функції, що дозволяє судити про ступінь досконалості АК.

Необхідність пошуку оптимальних рішень обумовлює актуальність вибору показників оцінки якості АК та його силової установки та критеріїв оптимізації їх параметрів.

Одним з основних показників, що характеризують паливну економічність силової установки, є питома витрата палива власне двигуна. Однак цей показник, який представляє собою часові витрати палива на створення одиниці сили тяги, не дає повного уявлення про внесок силової установки як складової частини АК у його якість. У зв'язку з цим в якості основного показника і критерію оптимальності, що дозволяє погоджувати характеристики планера і силової установки, доцільно використовувати нормальну злітну масу $m_{взл}$ (min $m_{взл}$) АК як еквівалент його вартості. Очевидно, що за інших рівних умов виробництво АК меншої маси буде дешевше.

Крім основного показника, отримання оптимальних (заданих) значень якого є головною метою оптимізації технічних параметрів синтезованого АК, його якість характеризується рядом інших показників. У таких випадках при порівнянні різних варіантів проектованого АК за основним показником інші його показники, наприклад, льотно-технічні характеристики, зазвичай приймаються однаковими для різних його варіантів. При математичній постановці задачі такі показники виступають у вигляді обмежень [3].

Ефективність АК може бути оцінена і за допомогою більш складних показників, наприклад, імовірністю виконання польотного завдання з урахуванням вартості виконання операції в цілому [1]. Проте використання таких показників при дослідженні вкладу двигунів в ефективність застосування АК не завжди виправдано з причини їх великої складності, необхідності врахування великої кількості взаємозв'язків і недостатньою їх критичності до зміни досліджуваних параметрів. Тим більше що питоме навантаження на крило і злітна тягоозброєність в ряді випадків задаються з

умови отримання необхідного рівня експлуатаційної ефективності.

Таким чином, узгодження параметрів АК і його СУ при синтезі АК може бути досягнуте в результаті відшукання значень K, $\xi_т$, $\xi_{кон}$, відповідних мінімуму нормальної злітної маси АК. Задачу при цьому можна сформулювати таким чином – знайти такі значення конструктивних параметрів АК, що визначають його технічний вигляд, які б відповідали наступній умові:

$$\min m_{взл} = f(K, \xi_т, \xi_{кон}).$$

Рішення даної задачі є завершальним етапом синтезу АК при заданих вимогах, оскільки в результаті будуть знайдені чисельні значення досліджуваних параметрів, які відповідають мінімуму нормальної злітної маси АК. За цієї умови розраховуються його льотно-технічні характеристики, і здійснюється перехід на вищий рівень ієрархії досліджень – на рівень оцінки ефективності та вартості АК при заданих значеннях досліджуваних характеристик (x).

Методика синтезу АК, основні положення якої наведені вище, пройшла неодноразову апробацію, як при виконанні досліджень, так і при проведенні конструкторських робіт. Деякі результати по верифікації методики синтезу наведені нижче.

Висновки. За допомогою викладеної вище методики синтезу можна на ранніх стадіях проектування АК проводити дослідження взаємозв'язку його основних параметрів, виявляти значущість різних параметрів, визначати діапазон можливих значень проектних параметрів з тієї умови, що реалізовується АК із заданими властивостями.

Параметричні дослідження з використанням викладеної вище методики проводилися шляхом формування АК, що відрізняються від базового значенням якого-небудь параметра, наприклад, масою корисного навантаження ($m_{пн}$), масою цільового устаткування ($m_{цо}$), значенням усталеного нормального перевантаження на маневрі ($m_{цо}$), стрілоподібністю (χ) тощо. Значення параметрів змінювалися з постійним кроком. Діапазон зміни визначався можливістю синтезу АК при заданому значенні параметра.

Достовірність результатів синтезу АК оцінювалася за несуперечності тенденцій зміни основних характеристик при зміні параметрів базового АК.

Для визначення ступеня достовірності розроблених моделей та практичної цінності результатів, отриманих з їх допомогою, було проведено їх тестування на прикладі формування вигляду регіонального пасажирського літака. Таке тестування проводиться для того, щоб визначити, наскільки точно математичні моделі АК та його складових частин описують умови існування та функціонування реальних літаків-прототипів.

Був використаний спосіб тестування, при якому параметри в моделі задаються рівними реальним значенням відповідних параметрів прототипу ($y_п$). Характеристики $u(y_п)$, обчислені для цих параметрів, порівнюються з характеристиками прототипу $u(y_п)$. Міра відхилення u від $u_п$ є оцінкою якості моделі. Такою мірою було вибрано середнє відхилення:

$$\Delta_{ср} = \frac{1}{K_{хар}} \sum_{i=1}^{K_{хар}} \left| \overline{u}_i(y_п) - \overline{u}_{пi}(y_п) \right|,$$

де $K_{хар}$ – число оцінюваних характеристик.

ЛІТЕРАТУРА

1. Авиация ВВС России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / под ред Е. А. Федосова. – М. : Дрофа, 2005. – 734 с.
2. Проектирование самолетов : учебник для вузов / [С. М. Егер, В. Ф. Мишин, Н. К. Лисейцев и др.]. – М. : Машиностроение, 1983. – 616 с.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М. : Наука, 1986. – 480 с.

УДК 629.735.083

Тамаргазін О. А., Крамаренко Т. Ю.

ВПЛИВ ЯКОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

У статті розглянуті загальні принципи оцінки ефективності функціонування як властивості складної технічної системи виконувати функціональне завдання із заданою точністю. Запропонований метод оцінки ефективності функціонування складних технічних систем дозволяє подолати обмеження і недоліки існуючих на сьогодні підходів.

Ключові слова: *технічна система, ефективність, функціонування.*

В статье рассмотрены общие принципы оценки эффективности функционирования как свойства сложной технической системы выполнять функциональные задачи с заданной точностью. Пред-

ложен метод оценки эффективности функционирования сложных технических систем позволяет преодолеть ограничения и недостатки существующих сегодня подходов.

Ключевые слова: *техническая система, эффективность, функционирований.*

In article the general principles of an estimation of efficiency of functioning as properties of difficult technical system to carry out functional problems with the set accuracy are considered. The method of an estimation of efficiency of functioning of difficult technical systems is offered allows to overcome restrictions and lacks of approaches existing today.

Key words: *technical system, efficiency, functioning.*

Постановка проблеми. Ефективність функціонування (ЕФ) технічних систем (ТС) є їх найважливішою експлуатаційно-технічною характеристикою, від якої в істотному ступені залежить виконання ТС поставленого функціонального завдання. Програма забезпечення необхідної ЕФ систем полягає в сукупності заходів щодо оцінки, підвищення та контролю їх надійності, точності, працездатності, якості функціонування й інших експлуатаційних характеристик. Ця програма реалізується як у сфері розробки та виробництва ТС, так і безпосередньо в процесі їх експлуатації. Комплексне використання різних методів підвищення надійності і якості роботи ТС може істотно підвищити їх ЕФ. В основі цих методів лежить кількісна оцінка ЕФ як інструмент, що дозволяє оцінити ефективність проведених заходів щодо забезпечення необхідної надійності і якості роботи ТС.

Методи оцінки ЕФ мають ряд істотних обмежень і недоліків, що знижують ефективність розроблювальних і проведених заходів. У результаті цього реальні показники ЕФ багатьох ТС у процесі експлуатації часто гірше їхніх розрахункових значень і не задовольняють вимогам нормативних документів. Така ситуація обумовлена рядом причин. До основної з них відносяться те, що зараз для нормування й оцінки надійності (безвідмовності), як правило, використовуються показники, запозичені з теорії надійності порівняно простих систем. Такими показниками зазвичай служать «середній час безвідмовної роботи системи», «імовірність безвідмовної роботи системи протягом заданого інтервалу часу» і деякі інші показники.

По-перше, ці показники не враховують, що сучасна складна система може виконувати свою функціональну задачу при відмові деяких елементів, але зі зниженою якістю. По суті ці показники враховують лише факт появи або відсутності відмов, але не дають уяви про вплив відмов на кінцевий ефект функціонування ТС, оскільки складна система може виконувати поставлене завдання, навіть якщо її деякі елементи відмовили. Тому поняття безвідмовності для складних систем ширше, ніж для систем, здатних перебувати тільки у двох станах (працездатному та непрацездатному).

По-друге, на цей час практично відсутні досить обґрунтовані методи оцінки якості функціонування складних систем й оцінки її впливу на ефективність функціонування ТС.

По-третє, розрахунок показників ЕФ ускладнюється на практиці тим, що складність сучасних ТС дорівнює складності мікропроцесорної техніки. Це приводить до необхідності використовувати спрощені моделі систем, ускладнює одержання достовірних оперативних оцінок ЕФ і розробку обґрунтованих ефективних заходів щодо її підвищення.

Будь-яка система і її окрема складова частина, що входить до складу більш складної системи, бере участь у рішенні загального завдання, спрямованого на виконання функціонального завдання (наприклад, на виконання польотного завдання). Від якості роботи кожної із цих систем залежить ефективність розв'язуваного завдання в цілому. В остаточному підсумку важливо не те, як працює кожна окремо взята система, а важливий кінцевий ефект від виконання складною ТС поставленого перед нею завдання. Така постановка обумовлює необхідність розробки та застосування методів оцінки ЕФ ТС як складних багатофункціональних систем.

Важливою властивістю сучасної складної ТС є функціональна надмірність, що дозволяє їй вирішувати поставлену задачу різними способами у випадку відмов й (або) відключенні частини елементів. Кожний із цих способів характеризується певним рівнем якості функціонування. Наприклад, система літаководіння повинна забезпечити прибуття літального апарата в задану точку простору з точністю не гірше необхідної. Гідравлічна система повинна передавати таке зусилля на виконавчий орган, щоб швидкість його відпрацьовування була не нижче необхідної тощо.

Ще порівняно недавно якісна сторона функціонування ТС не розглядалася, тобто вважалось, що відмова якого-небудь елемента приводить до повного припинення функціонування комплексу або зовсім не впливає на його працездатність. Зараз така постановка незадовільна з ряду причин.

По-перше, практично будь-які системи навіть при абсолютній безвідмовності не можуть

завжди на всі 100% виконувати поставлене завдання в силу певної технічної недосконалості. Так, через погрішності систем інструментальної посадки можливі повторні заходи літака на посадку при справній бортовому і наземному обладнанні. Поліпшення надійності ряду пілотажно-навігаційних комплексів вже не приводить до помітного підвищення ЕФ. Для підвищення ЕФ необхідне поліпшення характеристик комплексів тощо.

По-друге, складні системи в силу наявної в їхній структурі надмірності можуть вирішувати поставлені завдання при відмові окремих елементів, але з іншим рівнем якості. Необхідність визначення показників якості функціонування ТС в окремих працездатних станах обумовлена також постійним зростанням вимог до нормативів їх застосування.

Таким чином, кількісна оцінка рівнів якості функціонування ТС є необхідним елементом у схемі розрахунку їх ЕФ.

Якщо надійність як наукова дисципліна виникла порівняно давно, то задача оцінки якості функціонування систем поставлена лише недавно. На її рішення тільки починають звертати необхідну увагу. Офіційних документів з питань вибору й визначення показників кількісних оцінок якості функціонування складних ТС зараз по суті справи не має. Показники якості в науково-технічній літературі часто розглядаються як деякі константи, рекомендації з визначення яких не даються. Тому однією з головних задач, розглянутих у цій статті, є вибір і визначення показників якості функціонування ТС.

Теорія дослідження складних ТС зараз має досить розвинутий математичний апарат. Більшість результатів мають закінчений і конструктивний характер. Однак використання їх на практиці в багатьох випадках ускладнено в силу наявності так званого «прокляття розмірності», що має для складних ТС принциповий характер через складність їх структури, яка складається з великої кількості елементів. Це обумовлено тим, що основним інструментом дослідження ефективності функціонування складних ТС є комп'ютери, побудовані приблизно на тій же елементній базі і тому мають близьку по складності структуру, що й більшість елементів у ТС. Тому кожен новий етап удосконалювання комп'ютерної техніки дозволяє полегшити процес дослідження тільки систем «вчорашнього дня» і дає можливість переходити до більше простих і точних алгоритмів рішення задач, пов'язаних з дослідженням їх ефективності функціонування. У той же час кожне нове покоління складних ТС у силу названих причин виявляється практично недоступним для «прямого» застосування відомих теоретичних результатів, і тому вимагає пошуку окремих інженерних методів дослідження, що дозволяють відсунути межу складності сучасних ТС, які досліджуються за допомогою наявного комп'ютера на основі системного підходу.

Нашою метою є розгляд задачі й виклад основних підходів, які повинні бути покладені в основу дослідження перспективних ТС та їхніх складових частин. При цьому основна увага приділяється розгляду й обґрунтуванню системи можливих допущень, що дозволяє формувати досить швидкодіючі алгоритми та програми оцінки ЕФ перспективних сучасних ТС за допомогою спеціалізованих комп'ютерних програм. Критерієм достатності швидкодії програми для даного конкретного комплексу є можливість її використання при пошуку оптимального (точніше субоптимального) рішення типових експлуатаційних завдань.

Мета статті – визначення впливу якості роботи систем на ефективність їх функціонування.

Виклад основного матеріалу. Сучасний період технічного розвитку характеризується масовим застосуванням складних технічних систем (СТС), тактико-технічні характеристики яких зазвичай дуже високі й істотно відрізняються від характеристик простих пристроїв. Відмінною рисою СТС у порівнянні із простими системами є наявність функціональної надмірності в їхній структурі, що дозволяє їм вирішувати поставлені задачі при відмовах й (або) відключеннях окремих елементів. Звідси випливає наступне загальноприйняте визначення складної системи.

Складна система – це сукупність взаємозалежних елементів, що забезпечують виконання поставленої задачі кількома різними способами, що відрізняються рівнями якості функціонування. Елемент системи – це складова частина системи, що виконує певні функції та не підлягає подальшому розчленовуванню на частини при обраному ступені подробиці її розгляду.

При такому визначенні внутрішня організація структури елемента не є предметом дослідження. Мають значення тільки ті властивості елемента, які визначають його взаємодію з іншими елементами та впливають на систему в цілому. Дане визначення елемента не накладає ніяких обмежень на його обсяг. Залежно від складу системи та мети даного конкретного дослідження в якості елементів можна розглядати деталі, вузли, агрегати, апарати, прилади та їх складові частини, самостійні засоби у складі СТС, а також прості системи.

Проста система, це сукупність взаємозалежних елементів, що забезпечують виконання за-

даних функцій одним способом з єдиним рівнем якості функціонування. Можна вважати, що проста система складається з послідовно з'єднаних за надійністю елементів, відмова кожного з яких приводить до її відмови. Резервування окремих елементів однотипними елементами не означає, що система перестає бути простою. Дійсно, якщо вважати всі елементи зі структурним резервом за один елемент із підвищеною надійністю, то послідовна схема елементів у системі не змінюється.

Технічні системи можуть бути однофункціональними та багатофункціональними. Однофункціональна система, це система, призначена тільки для виконання однієї задачі. Багатофункціональна система – система, призначена для одночасного або послідовного виконання декількох задач. Наприклад, пілотажно-навігаційний комплекс забезпечує пілотування літального апарата за заданим маршрутом, а потім інструментальний захід на посадку. Такий комплекс може також використовуватись для рішення задачі скидання вантажу у заданий район земної поверхні.

У багатофункціональних системах кожній розв'язуваній задачі відповідає певний контур (К) керування (набір елементів), у якому циркулює потік інформації. У складних багатофункціональних системах до їх контурів можуть входити як різні, так і частково ті самі елементи, тобто контури частково «перекриваються».

Сучасні СТС (наприклад, бортові комплекси сучасного літака та його обладнання), як правило, являють собою складні багатофункціональні системи і їх відмінна риса полягає у використанні централізованої автоматичної обробки інформації обчислювальними пристроями. Набір елементів у складі такий СТС дозволяє вирішувати задачі і при порушенні працездатності окремих елементів, тому багато сучасні ТС та їхніх основних складових частини відносяться до класу складних багатофункціональних систем.

До складу СТС можуть входити системи короткочасної (миттєвої) та тривалої дії.

Система короткочасної дії, це система, корисний ефект від застосування якої визначається фінальним станом, тобто станом, у якому вона завершує своє функціонування. Різновидом систем короткочасної дії є високонадійні системи, стан яких протягом розглянутого часу функціонування не змінюється. Наприклад, системою короткочасної дії є навігаційний комплекс, що визначає координати точки скидання вантажу. Для такого комплексу в силу малого інтервалу часу застосування (прицілювання) τ ймовірність того, що його похибки будуть не більше припустимих $P(t_0 + \tau) \approx P(t_0)$, де t_0 – момент початку часу застосування комплексу.

Система тривалої дії, це система, корисний ефект від застосування якої визначається траєкторією зміни станів протягом розглянутого часу функціонування, тобто моментами зміни станів та їх послідовністю. Наприклад, система, імовірність зміни станів якої протягом розглянутого часу функціонування близька до одиниці, швидше за все буде належати до класу СТС тривалої дії. Системою тривалої дії є, наприклад, паливна система літального апарата. Для такої системи ймовірність того, що тиск під час польоту тривалістю τ буде не нижче заданого $P(t_0 + \tau) \neq P(t_0)$.

Слід зазначити, що системи короткочасного та тривалого характеру дії, що визначені певним наведеним вище способом, є математичними абстракціями, моделями, за допомогою яких описуються реальні ТС. Вибір тієї або іншої моделі здійснюється в залежності як від реальних властивостей досліджуваного об'єкта, так і від необхідної точності дослідження.

Найважливішою властивістю СТС є їхня ефективність. Зазвичай під ефективністю системи розуміють ступінь її пристосованості до виконання відповідних функцій (задач) у певних умовах [1]. Ефективність системи є найбільш загальною її характеристикою. Конкретний зміст цього поняття залежить від специфіки задачі дослідження, що може бути поставлена в тій чи іншій формі.

Призначенням будь-якої технічної системи є виконання поставлених перед нею завдань, тобто одержання корисного результату (ефекту) у процесі функціонування системи в заданих умовах. Процес функціонування системи повинен бути досить ефективним, тобто забезпечувати виконання поставлених задач, для яких система спроектована з імовірністю не менш заданої.

Ефективність функціонування системи, це властивість процесу функціонування системи, що визначає кінцевий результат виконання поставленої перед нею задачі. Ця властивість обумовлює величину вихідного ефекту системи, тобто корисний результат її застосування.

Все вище сказане вимагає введення поняття якості функціонування системи. Для цього розглянемо СТС, що складається з K елементів. Момент появи відмови довільного k-го елемента позначимо через t_k.

Таким чином, стан СТС визначається випадковим вектором $\{t_k\}$, $k = 1,\ldots,K$, що має деяка спільна K-мірна щільність імовірності $q(t_1,\ldots,t_K)$.

Очевидно, умовний ефект від застосування СТС, елементи якої відмовили в моменти часу є деякою функцією цих моментів:

$$P(t) = P(t_1,\ldots,t_K,t), \qquad (1)$$

де t – для системи короткочасної дії розуміється

момент часу її застосування, а для системи тривалої дії t – тривалість інтервалу часу [0, t], на якому вона застосовується.

Умовний показник ефективності функціонування (1) залежно від призначення системи і її типу може мати різний фізичний зміст. Це може бути продуктивність, кількість інформації, умовна ймовірність виконання певних задач тощо.

У цілому, для всіх можливих станів системи показником з функціонування можна вважати математичне очікування функції випадкових аргументів:

$$E = M[P(t)] = \\ = \int_{-\infty}^{\infty} \ldots \int_{-\infty}^{\infty} P(t_1, \ldots t_K, t) q(t_1, \ldots, t_K) dt_1 \ldots dt_K \quad (2)$$

Математичне очікування (2) функції (1) характеризує процес функціонування СТС інтегрально для всіх можливих випадкових моментів часу виникнення відмов її елементів, а функція (1) характеризує цей процес тільки лише за умови, що відмови елементів відбулися в якісь певні моменти часу t_K.

Умовний показник ефективності функціонування (1) оцінює якість процесу функціонування системи в якомусь одному її стані, обумовленому відмовами елементів у певні моменти часу. Відповідно до цього приведемо наступне визначення якості функціонування системи з урахуванням можливості знаходження СТС у різних працездатних станах.

Якість функціонування системи (умовна ефективність функціонування) – властивість процесу функціонування системи в даному її стані, від якого залежить кінцевий результат виконання поставленої перед нею задачею. Ця властивість обумовлює вихідний корисний ефект системи за умови, що відмови відбулися в якісь фіксовані моменти часу.

Для того, щоб судити про ефективність функціонування СТС і порівнювати між собою порізному сконструйовані системи, необхідно мати деякий чисельний показник ефективності функціонування. Конкретний зміст показників ефективності функціонування залежить від специфіки й призначення розглядаємої СТС, а також від задачі дослідження і її постановки.

Показники ЕФ можуть бути імовірнісними, інформаційними, вартісними тощо. Вибір й обґрунтування конкретних показників ЕФ є інженерною задачею, рішення якого визначається призначенням системи, а також метою проведеного дослідження.

Найбільш загальними вимогами, що висуваються до показників ЕФ, є наочний і зрозумілий фізичний зміст; відповідність розв'язуваним СТС задачам; можливість досить простого визначення; однаковий фізичний зміст при рішенні СТС всіх загальних і окремих задач.

Зазначеним вимогам найбільш повно задовольняє прийняття як основного показника ефективності СТС імовірності виконання поставленого функціональної задачі. Імовірнісний показник прямо характеризує оперативно-технічні властивості СТС. Використання імовірнісного показника (2) для оцінки ЕФ дозволяє задовольнити також наступні важливі вимоги:

- максимальний облік факторів, що визначають надійність СТС та якість їхньої роботи;
- зручність використання при інженерних розрахунках ЕФ;
- пристосованість до нормування при встановлені вимог СТС що проектуються або знаходяться в експлуатації;
- принципова можливість практичної перевірки заданих вимог у процесі експлуатації та спеціальних випробувань.

Процес виникнення відмов у СТС по своїй фізичній природі носить випадковий характер, тому показники ЕФ є статистичними величинами, які розраховуються на основі правил математичної статистики та теорії ймовірностей.

Показник ефективності функціонування комплексу (2) є функцією часу застосування t, що у загальному випадку є випадковою величиною. Це може бути обумовлено, наприклад, різною швидкістю польоту літака, різною дальністю до кінцевого пункту маршруту польоту тощо.

Тому ймовірність (2) можна розглядати як функцію $E(t)$ випадкового аргументу t, значення якого розподілені з деякою щільністю ймовірності $q(t)$. Тоді повну ймовірність виконання поставленого завдання знайдемо по формулі математичного очікування:

$$\overline{E} = M[E(t)] = \int_0^{\infty} E(t) q(t) dt \,. \quad (3)$$

Якщо система тривалого характеру дії застосовується на відрізку часу [t_0, $t_0 + \tau$] тривалістю τ, то ймовірність (2) є деякою функцією $E(t_0,\tau)$. Аргументи цієї функції в загальному випадку варто розглядати як випадкові величини. З урахуванням цього повну ймовірність виконання задач системою тривалої дії знайдемо по формулі математичного очікування у вигляді:

$$\overline{E} = M[E(t_0, \tau)] = \int_0^{\infty}\int_0^{\infty} E(t_0, \tau) q(t_0, \tau) dt_0 d\tau \,, \quad (4)$$

де $q(t_0,\tau)$ – спільна щільність імовірності значень часу початку застосування системи та тривалості операції.

Показники (3) і (4) оцінюють ЕФ системи інтегрально по всіх можливих випадкових моментах часу застосування.

Оскільки тривалість застосування багатьох

СТС велика та змінюється випадковим чином у широкому діапазоні можливих значень, то оцінка ЕФ імовірністю (2) є у відомій мері суб'єктивною. Тому інтегральні критерії (3) і (4) є більш об'єктивними, оскільки дозволяють врахувати як можливі відхилення тривалості застосування СТС від розрахункової в даному конкретному випадку, так і для всіх можливих польотів.

Розсіювання можливих значень імовірності E щодо її математичних очікувань (3) і (4) оцінюється за відомою формулою дисперсії функції випадкових аргументів [2]:

$$\sigma^2[E(t)] = \int_0^{\infty} \left[E(t) - \overline{E}\right]^2 q(t)\,dt \qquad (5)$$

$$\sigma^2[E(t_0,\tau)] = \int_0^{\infty}\int_0^{\infty} \left[E(t_0,\tau) - \overline{E}\right]^2 q(t_0,\tau)\,dt_0\,dt\,.$$

Чим менше дисперсії (5), тим у меншій степені ймовірність виконання завдання E відрізняється від своїх середніх значень.

За функціями $E(t)$ та $E(t_0,\tau)$ і відомим щільностям ймовірностей їхніх аргументів $q(t)$ та $q(t_0,\tau)$ методами теорії ймовірностей [2] і розрахунку точності технічних пристроїв можна знайти щільність імовірності $V(E)$ можливих значень імовірності E, розподілених випадковим чином у межах від 0 до 1.

Тоді дисперсія значень імовірності E буде виражена формулою

$$\sigma^2[E] = \int_0^1 \left(E - \overline{E}\right) V(E)\,dE\,. \qquad (6)$$

Обчислення дисперсій значень імовірності E за формулами (5) і (6) повинне приводити до однакових результатів.

Довірча ймовірність того, що значення ймовірності виконання поставленого завдання E не менше заданого $E_з$, дорівнює

$$P\left(E \ge E_з\right) = \int_{E_з}^{1} V(E)\,dE\,. \qquad (7)$$

Чим більше довірча ймовірність (7), тим ефективніше функціонує система.

Відомо, що поняття відмови для складної системи важко сформулювати, оскільки вона здатна виконувати поставлене функціональне завдання при відмові частини елементів.

Один з можливих підходів до вирішення цієї проблеми є метод заснований на пред'явленні вимог до рівня «спаду» ЕФ, що задається у вигляді умови

$$E(t) < E_з\,.$$

При виконанні цієї нерівності система вважається непрацездатною. З рішення рівняння $E(t) = E_з$ визначається час безвідмовної роботи системи у вигляді зворотної функції

$$t = E^{-1}(E_з)\,. \qquad (8)$$

Висновки. Вимоги до ЕФ можуть бути різними залежно від конкретних умов застосування системи, тобто задане значення ймовірності $E_з$ у загальному випадку є випадковою величиною. При цьому час безвідмовної роботи системи T оцінюється математичним очікуванням функції (8). Особливістю розглянутих показників ЕФ є їхня ймовірносно-статистична природа.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вентцель Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1969. – 576 с.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М. : Наука, 1986. – 480 с

УДК 629.735.083(045)

Тамаргазін О. А., Олег М. В.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

У статті розглянуто сучасні методи прогнозування характеристик літальних апаратів, які використовуються з метою визначення найбільш перспективних напрямків розвитку авіаційної науки і техніки, вибору оптимальних напрямків модернізації авіаційних комплексів, що знаходяться в експлуатації, створення принципово нових зразків авіаційної техніки.

Ключові слова: *авіаційна техніка, прогнозування, технічні характеристики.*

В статье рассмотрены современные методы прогнозирования характеристик летательных аппаратов, которые используются с целью определения наиболее перспективных направлений развития авиационной науки и техники, выбора оптимальных направлений модернизации авиационных комплексов находящихся в эксплуатации, создания принципиально новых образцов авиационной техники.

Ключевые слова: *авиационная техника, прогнозирование, технические характеристики.*

In article modern methods of forecasting of characteristics of flying machines which are used for the

purpose of definition of the most perspective directions of development of an aviation science and technics, a choice of optimum directions of modernization of aviation complexes being in operation, creations of essentially new samples of aviation technics are considered.

Key words: *the aviation technics, forecasting, technical characteristics.*

Постановка проблеми. Прогноз – це судження про можливий стан якого-небудь об'єкту в майбутній момент часу [1]. Прогнозування – це процес розробки прогнозів, це спроба визначити хід подій в майбутньому за інформацією у минулому. Об'єктами прогнозування можуть бути наука, техніка, процеси, явища і т. п. Залежно від вигляду об'єкту розрізняють прогнози розвитку науки і техніки, ходу і результату застосування техніки, політичних, економічних і екологічних процесів, погодних і соціальних явищ тощо.

Серед множини видів прогнозів особливе місце займають науково-технічні прогнози, оскільки техніка як знаряддя цивільного і військового виробництва в значній мірі визначає добробут людей і ефективність Збройних Сил. Зупинимося на питаннях науково-технічного прогнозування в авіації.

Слово «наукове» підкреслює дві обставини: по-перше, те, що прогнозування виконується науковими методами; по-друге, те, що при прогнозуванні використовуються результати тих наукових напрямів, які пов'язані з вживанням і створенням техніки.

Науково-технічне прогнозування і прогнози можна розділити на два види:

- прогнозування поведінки об'єкту;
- прогнозування розвитку (створення) об'єкту.

Існує багато методів прогнозування. Залежно від принципу здобуття прогнозної інформації їх можна розділити на чотири групи:

1) екстраполяційні (перенесення на майбутнє встановлених закономірностей розвитку об'єкту в ретроспективний період);
2) експертні (евристичні) (здобуття і узагальнення думок фахівців про об'єкт прогнозу і його оточення);
3) математичного моделювання (створення і використання моделей визначення оптимальної подоби перспективних об'єктів);
4) комбінований (сукупність принципів 1, 2 і 3-го методів, з яких 3-й основний).

Основний метод прогнозування розвитку техніки – комбінований. Стосовно прогнозування розвитку техніки метод називають:

- інженерне прогнозування для цивільної техніки;
- військово-інженерне прогнозування для військової техніки.

Метою статті є аналіз методів прогнозування характеристик літальних апаратів.

Виклад основного матеріалу. Оскільки головна частина методу – метод математичного моделювання, остільки далі основна увага приділяється цьому методу. Тут же обговоримо методи екстраполяції.

Методи відносяться до пошукового прогнозування і засновані на перенесенні подій і станів, що були у минулому, на майбутнє.

Методи діляться на статичні, динамічні і змішані.

Статичні методи дозволяють визначити залежність одного якого-небудь параметра об'єкту від інших $\Pi = \Pi(\Pi_1...,\Pi_I)$. Наприклад, залежність вартості турбореактивного двигуна від числа двигунів на літаку $n_{дв}$, програми випуску $x_{дв}$, тяги двигуна $P_{дв}$ [кгс], питомої маси двигуна $\gamma_{дв}$ [кг/кгс] і числа Маху М польоту літака має вигляд:

$$C_{дв} = n_{дв}^{0,8} \; x_{дв}^{-0,2} \left(-62 \; + 0{,}267 \; P_{дв} + 58 \; \gamma_{дв}^{-1} + 276 \; M\right).$$

Динамічні методи дозволяють визначити залежність якого-небудь параметра об'єкту від часу $\Pi = \Pi(t)$. Наприклад $\gamma_{дв} = \gamma_д(t)$.

Змішані методи дають можливість знайти залежність якого-небудь параметра об'єкту від інших і часу: $\Pi = \Pi(\Pi_1,...,\Pi_I; t)$. Прикладом такої залежності може бути вартість планера літака

$$C_{пл} = a \cdot m_{пуст} \cdot V_{max} \cdot x \cdot k(t),$$

де $m_{пуст}$ – маса порожнього літака;

V_{max} – максимальна швидкість польоту;

x – програма виробництва;

$k(t)$ – коефіцієнт, що враховує зміну вартості в часі.

Розглянемо деякі динамічні методи. Завдання ставиться таким чином. Хай на ретроінтервали $0 \le t \le T^p$ із статистики відомі значення якого-небудь параметра кожного k-го об'єкту з n^p, прийнятих на експлуатацію в моменти часу ($k = 1,\ldots,n^p$), тобто відомий ретроспективний часовий ряд $\Pi(t_k) = z(t_k)$.

Потрібно визначити тренд (тобто функцію, що характеризує загальну тенденцію зміни параметра) на ретроінтервали (інтерполяція) і далі, вважаючи, що закономірності розвитку об'єкту в прогнозний період аналогічні закономірностям розвитку об'єкту на ретроінтервалі, розповсюдити тренд на $0 \le t \le T$ (екстраполяція). Скорочено процедуру інтерполяції і екстраполяції називатимемо екстраполяцією.

Існує декілька способів визначення тренда. Зупинимося на двох: непрямому і безпосередньому.

Непрямий метод екстраполяції [1] заснований на використанні ретроінформації побічно: шляхом висунення гіпотези про динаміку зміни параметрів стану об'єкту на всьому ретро- і прогнозному інтервалі. Розглянемо два приклади, що ілюструють суть непрямого методу.

Приклад 1. Хай відомий ретроряд, що характеризує вартість 1 кг літака:

$$\overline{C}_k = \overline{C}_k(t_k),$$

де t_k – час прийняття в експлуатацію k-го літака.

Потрібно визначити тренд $\overline{C} = \overline{C}(t)$.

Висловимо гіпотезу: швидкість приросту вартості пропорційна величині вартості в даний момент часу, тобто:

$$\frac{d\overline{C}}{dt} = b\overline{C},$$

де b – коефіцієнт пропорційності.

Інтегруючи, отримаємо:

$$\overline{C} = \overline{C}_0 e^{bt},$$

де $\overline{C}_0$ – значення $\overline{C}$ при $t = 0$, $\overline{C}_0 = \overline{C}(0)$.

Невідомі коефіцієнти b і $\overline{C}_0$ можуть бути знайдені методом найменших квадратів.

Приклад 2. Існують явища, розвиток яких характеризується S-образною кривою; спочатку $z(t)$ змінюється повільно, потім швидко, потім знову повільно. Так зміняється по роках, наприклад, швидкість польоту літаків, кількість споживачів продукції тощо.

Хай відомий ретроряд, що характеризує максимальну швидкість польоту літака:

$$V_{\max k}(t_k) = V_k(t_k),$$

де t_k – час прийняття в експлуатацію k-го ЛА.

Потрібно визначити тренд $V(t)$.

Висловимо гіпотезу: інтенсивність приросту швидкості польоту ЛА пропорційна добутку швидкості та функції, що враховує зменшення темпу зростання швидкості у міру наближення її до деякого порогу, тобто:

$$\frac{dV}{dt} = bV\left(1 - \frac{V}{\overline{V}}\right). \qquad (1)$$

Видно, що при $V \to \overline{V}$, $dV/dt \to 0$ і при $t \to \infty$ V наближається до $\overline{V}$ асимптотично. Інтегруючи вираження (1), отримаємо залежність швидкості від часу (тренд):

$$V = \frac{\overline{V}}{1 + \left(\frac{\overline{V}}{V_0} - 1\right)e^{-bt}} = \frac{\overline{V}}{1 + ae^{-bt}},$$

де $V_0 = V(0)$ – значення швидкості в початковий момент часу $t = 0$; $a = \overline{V}/V_0 - 1$.

Це, так звана, логістична крива.

З рівняння

$$\frac{d^2V}{dt^2} = 0$$

можна знайти час перегину $t_n = \ln(a/b)$. У точці перегину $V = 0{,}5\overline{V}$. Невідомі $\overline{V}$, a і b можуть бути знайдені методом найменших квадратів.

Безпосередній метод екстраполяції заснований на підборі відповідної апроксимуючої функції-тренда і визначенні невідомих в ній коефіцієнтів яким-небудь методом.

До апроксимуючої функції пред'являється ряд вимог. Приведемо два.

1. Функція повинна забезпечити правдоподібний опис стану об'єкту не лише на ретроінтервали, але і в майбутньому, зокрема, якщо не вдається описати зміну параметра однією функцією, слід спробувати використовувати метод огибної.

2. За умови виконання першої вимоги треба прагнути описати наявні емпіричні дані за допомогою достатньо простих функцій, таких як:

- лінійна: $z = a + bt$;
- експоненціальна: $z = z_0 e^{bt}$;
- квадратична: $z = ct^2$.

Якщо вважати, що час t – невипадкова величина, а $z(t)$ – випадкова, то математичне очікування z, наприклад, $z = a + bt$ – суть регресія z на t.

Для визначення невідомих коефіцієнтів, що входять в апроксимуючі функції, можна використовувати метод найменших квадратів. Розглянемо використання цього методу для визначення коефіцієнтів лінійної та експоненціальної функцій.

Нехай в результаті обробки інформації отриманий ретроряд $z_k(t_k)$ що характеризує значення одного і того ж параметра (наприклад, відносної маси функціонального навантаження ЛА $\xi_{эов}$) k-х об'єктів ($k = 1,\ldots,n^{р}$), прийнятих в експлуатацію в моменти часу t_k.

Нехай є також підстави вважати, що відповідною апроксимуючою функцією ряду є лінійна: $z = a + bt$. Потрібно визначити коефіцієнти a і b. Найкращі значення a і b мінімізують суму квадратів відхилень дослідних точок від точок теоретичною кривою:

$$a, b = \operatorname{agr}\min_{a,b}\left\{S = \sum_{k=1}^{n}\left[z_k - (a + bt_k)\right]^2\right\}.$$

Необхідною умовою існування екстремуму є рівність нулю приватних похідних S по a і b:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 2\sum_{k=1}^{n}\left[z_k - (a + bt_k)\right](-1) = 0;$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 2\sum_{k=1}^{n}\left[z_k - (a + bt_k)\right](-t_k) = 0,$$

звідки слідує:

$$an + b\sum_{k=1}^{n} t_k = \sum_{k=1}^{n} z_k\,;$$

$$a\sum_{k=1}^{n} t_k + b\sum_{k=1}^{n} t_k^2 = \sum_{k=1}^{n} t_k z_k$$

або

$$an + b\alpha_1 = \beta_1\,;$$

$$a\alpha_1 + b\alpha_2 = \beta_2\,,$$

де

$$\alpha_1 = \sum_{k=1}^{n} t_k\,,\ \alpha_2 = \sum_{k=1}^{n} t_k^2\,,$$

$$\beta_1 = \sum_{k=1}^{n} z_k\,,\ \beta_2 = \sum_{k=1}^{n} t_k z_k\,.$$

Вирішення рівнянь відносне a і b має вигляд:

$$a = \frac{\Delta a}{\Delta},\ b = \frac{\Delta b}{\Delta}, \qquad (2)$$

де детермінанти

$$\Delta = \begin{vmatrix} n & \alpha_1 \\ \alpha_1 & \alpha_2 \end{vmatrix} = n\alpha_2 - \alpha_1^2\,; \qquad (3)$$

$$\Delta_a = \begin{vmatrix} \beta_1 & \alpha_1 \\ \beta_2 & \alpha_2 \end{vmatrix} = \alpha_2\beta_1 - \alpha_1\beta_2\,;$$

$$\Delta_b = \begin{vmatrix} n & \beta_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 \end{vmatrix} = n\beta_2 - \alpha_1\beta_1\,.$$

Нехай тепер для деякого ретроряду $z_k(t_k)$ (наприклад, залежності злітної маси ЛА від часу) відповідною апроксимуючою функцією є експоненціальна: $z = z_0 e^{bt}$. Потрібно визначити невідомі величини z_0 и b. Логарифмуючи експоненту, отримаємо:

$$Y = a + bt,$$

де $y = \ln z$; $a = \ln z_0$. Таким чином, завдання зведене до попередньої і тому коефіцієнти, a і b визначаються за формулами (2) і (3), в яких коефіцієнти мають вигляд:

$$\alpha_1 = \sum_{k=1}^{n} t_k\,,\ \alpha_2 = \sum_{k=1}^{n} t_k^2\,,$$

$$\beta_1 = \sum_{k=1}^{n} \ln z_k\,,\ \beta_2 = \sum_{k=1}^{n} t_k \ln z_k\,.$$

Коефіцієнт z_0 визначається із співвідношення $z_0 = e^a$.

Розглянемо наступне завдання: по динамічному ретроряду зміни питомої маси одноконтурних ТРД від року випуску $\gamma_{\text{дв}\,k}^{\text{дин.р}} = \gamma_{\text{дв}\,k}^{\text{дин.р}}(t)$ визначити тренд $\gamma_{\text{дв}} = \gamma_{\text{дв}}(t)$; прийняти $\gamma_{\text{дв}} = a + bt$. За допомогою тренда знайти прогнозне значення $\gamma_{\text{дв}}$ ТРД Р-35 випуску 1974 р. літака МіГ-23МЛ.

Порівняти з дійсним значенням $\gamma_{\text{дв}\,P\text{-}35}$ = 0,139 кг/кгс (визначити помилку прогнозу).

Вирішуючи цю задачу, ми отримали: $\gamma_{\text{дв}}$ = 0,2249 – 0,0051t; $\gamma_{\text{дв}\,P\text{-}35}$ = 0,143. Помилка прогнозу склала 3%.

Висновок. Використання методу екстраполяції для прогнозу зміни в часі параметрів об'єкту вимагає обережного і вдумливого підходу. Дуже важливо при виборі вигляду апроксимуючої функції і глибини прогнозу T врахувати, виходячи з фізичних міркувань, можливий характер зміни прогнозованого параметра в майбутньому. Апроксимуюча функція, допустима при прогнозуванні зміни параметра при малих T, може дати значну помилку при великих T. Так, в розглянутому завданні як апроксимуюча функція використовувалася лінійна: $\gamma_{\text{дв}}$ = 0,2249 – 0,0051t. Для короткострокового (і, мабуть, середньострокового) прогнозування її використання, судячи по характеру ретроряду, допустимо; для довгострокового і, тим більше, надстрокового прогнозування – вже ні. Дійсно, при $t = T - a/b$ функція $\gamma_{\text{дв}}$ перетворюється на нуль (у завданні T = 0,2249/0,0051 = 44 рокам), чого бути не може. Тренд в цьому випадку повинен асимптотично наближатися до деякого гранично мінімального значення $\gamma_{\text{дв min}}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Саркисян С. А. Научно-техническое прогнозирование и прогнозно-целевое прогнозирование в машиностроении / С. А. Саркисян, П. Л. Акопов, Г. В. Мельников. – М. : Машиностроение, 1987. – 299 с.

УДК 629.017

Абдулгазис А. У., Феватов С. А., Мамутов Р. Р., Ислямов И. С., Шемиев С. Б.

СТЕНДОВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСА ШИН

Пропонується методика і схема стенда для об'єктивного визначення в умовах автогосподарства зношеності шин і приймання рішення про заміну шини або продовження експлуатації

Ключові слова: *знос шин, ресурс шин, комплектація шин, фактичний діаметр шин.*

Предлагается методика и схема стенда для объективного определения в условиях автохозяйства изношенности шин и принятия решения о замене шины или продолжении эксплуатации

Ключевые слова: *износ шин, ресурс шин, комплектация шин, фактический диаметр шин.*

The method and scheme of the stand for an objective definition of motor transport in terms of waste tires and the decision to replace the tires or the continuation of operation

Key words: *tire wear, tire life, a complete set of tires, the actual diameter of the tires.*

Постановка проблемы. Традиционные способы комплектации автомобильных шин, в том числе сдвоенных, при шиномонтаже не обеспечивают в эксплуатации требуемой работоспособности. Кинематическое несоответствие шин возникает не только из-за различия их статических (динамических) радиусов, но и из-за различия физико-механических показателей резины протектора, корда и других элементов шин, а также ряда других факторов производственного и эксплуатационного характера, не всегда поддающихся учету.

Рациональная комплектация шин возможна при эффективном применении технических средств измерения и стендов, позволяющих определять с достаточной точностью фактический диаметр шины.

Анализ последних достижений и публикаций. Неравномерность износа, а следовательно, неравенство динамических радиусов левых и правых колес автомобилей может быть вызвана различными причинами [1–3].

К числу этих причин могут относиться:

- колебания диаметрального размера шин, обусловленные неточностью их изготовления [4–6];
- неоднородность материала шины, обуславливающая разность радиальной жесткости шин [7];
- различное давление воздуха в шинах [8];
- колебания значений вертикальных нагрузок на шины [8].

При эксплуатации автомобилей шины изнашиваются, и высота протектора уменьшается до критического размера, после которого происходит полное их разрушение. Заводами-изготовителями при эксплуатации шин грузовых автомобилей гарантируется пробег 50000 км, после которого шины необходимо заменять. При этом автохозяйства в журнале должны фиксировать пробег каждой шины в течение всего срока эксплуатации. Эта процедура в условиях автохозяйства ввиду ее большой трулоемкости практически не проводится, вместо этого перед поездкой производят визуальный осмотр состояния шин на отсутствие повреждений и оценивают глубину протектора, который определяют по высоте индикатора износа, равного для грузовых автомобилей не менее 1 мм.

Известна методика определения износа шин по ресурсу протектора новой шины ($В_н$) за вычетом минимально допустимой высоты протектора ($В_{доп}$), при которой шина должна сниматься с эксплуатации [9].

Остаточная (фактическая) высота рисунка протектора шины ($В_ф$) определяется как среднее арифметическое высот, измеряемых в 4-х взаимоперпендикулярных сечениях шины по окружности. Считают целесообразным производить такие замеры в плоскостях естественной симметрии колеса. В каждом сечении высота рисунка протектора определяется по зоне беговой дорожки, имеющей максимальный износ. Процент износа шины ($И_ш$) по высоте протектора рассчитывается по формуле:

$$И_ш = \frac{В_н - В_ф}{В_н - В_{доп}} \times 100\% \cdot$$

В условиях небольших автохозяйств использовать указанную методику сложно. Кроме того, она не дает точных результатов из-за измерения диаметра шины в нескольких плоскостях подручными средствами, например, рулеткой. Поэтому указанная методика практически также не применяется. К тому же, определение износа шин производится при неподвижном колесе без нагрузки, что не характерно для работы шины при движении автомобиля.

Известен стенд для определения износа шин конструкции Научно-исследовательского института шинной промышленности (НИИШП), который содержит беговой барабан, на который опирается колесо с шиной, закрепленное на рамке, соединенной со средством нагрузки на колесо и привод. Шину прижимают к беговому барабану с 20% перегрузкой, который раскручивают до «линейной» скорости 90 км/час.

На рассматриваемом стенде шину вращают беговым барабаном до полного её износа и по результатам испытания устанавливают нормативный её пробег до замены. Между тем, в шине, работающей в легких условиях эксплуатации при небольшой нагрузке, износ протектора шины происходит менее интенсивно, и её диаметр уменьшается меньше, чем у нагруженной шины, вследствие чего она может эксплуатироваться больше гарантированного срока пробега, но по инструкции подлежит замене. Поэтому определение износа шины лучше проводить не по величине пробега, а по уменьшению её диаметра в результате износа протектора, уменьшение которого является объективным показателем износа шины. Однако на этом стенде замер диаметра протектора шины не производят, и, таким образом, не предусмотрены основания для замены её до окончания гарантии или продолжения эксплуатации после окончания гарантийного срока,

что не является безопасной её эксплуатацией или экономичного использования.

Цель статьи – разработка стенда для определения износа шины колеса транспортного средства путем измерения её диаметра в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации. Ожидаемый результат – определение фактического, а не гарантированного ресурса шины, находящейся в эксплуатации в зависимости от условий её работы.

Изложение основного материала. Предлагается стенд для определения износа шин, содержащий беговой барабан, на который опирается колесо с испытываемой шиной, закрепленное на рамке, соединенной со средством нагружения и привод. Новым является то, что предлагаемый стенд снабжен датчиком контроля диаметра протектора шины, который выполнен в виде ролика, опирающегося на беговой барабан. Ролик через шток соединен с гидроцилиндром, закрепленным на рамке колеса, а его ось расположена в вертикальной плоскости, проходящей через центры шины и бегового барабана. Гидроцилиндр шлангами соединен с прозрачной трубкой со шкалой, которая заполнена окрашенной жидкостью до нулевой на ней отметки. Новые качества предлагаемого стенда заключаются в следующем:

- снабжение стенда датчиком контроля диаметра протектора шины, выполненным в виде ролика, опирающегося вместе с шиной на беговой барабан и соединенного со штоком гидроцилиндра, который закреплен на рамке колеса с возможностью перестановки по высоте;
- расположение оси дачика в вертикальной плоскости, проходящей через центры шины и бегового барабана, позволило создать перемещение ролика точно на величину уменьшения толщины протектора;
- соединение гидроцилиндра прозрачной трубкой со шкалой, заполненного окрашенной жидкостью до нулевой отметки на шкале позволило точно определять и фиксировать износ протектора шины после её эксплуатации, а меньшее сечение указанной трубки по сравнению с сечением гидроцилиндра позволило увеличить масштаб шкалы.

В случае, когда шина эксплуатировалась мало нагруженной и в лёгких условиях, на основании визуальных наблюдений можно допустить дальнейшую эксплуатацию после окончания её гарантийного срока. В случае эксплуатации шины в тяжёлых условиях, когда диаметр её протектора уменьшился до появления индикаторов износа шины, расположенных в канавках рисунка протектора, её следует заменить даже до окончания гарантийного срока эксплуатации.

На рис. 1 изображен стенд для определения износа шин.

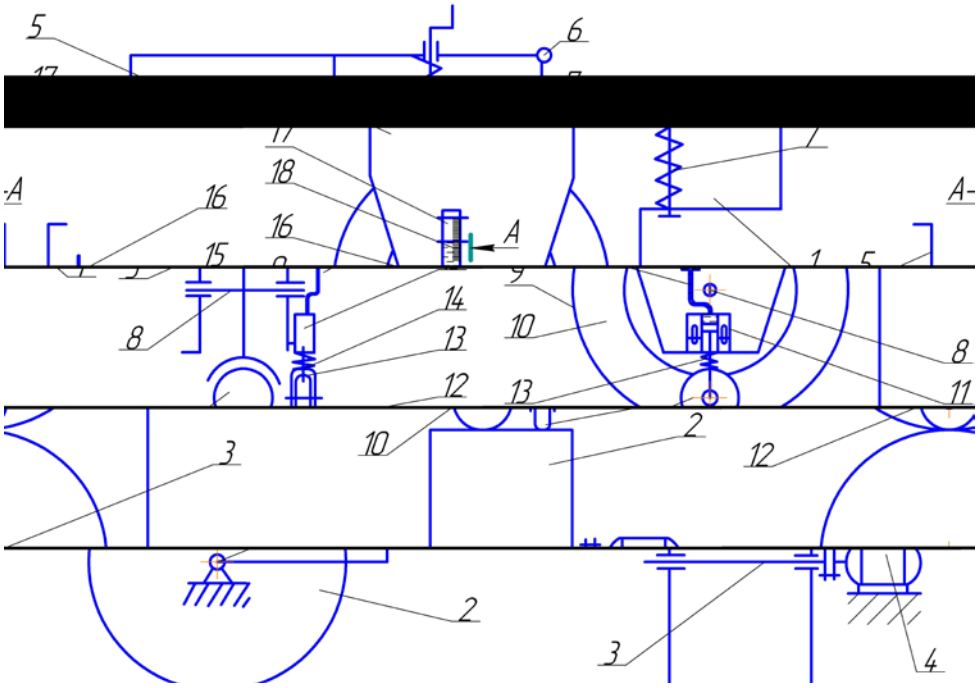

Рис. 1. Схема стенда для определения износа шин.

Стендом пользуются следующим образом. Датчик 11 вместе с гидроцилиндром 15, поршень которого пружиной 14 вместе со штоком 13 и роликом 12 перемещён в нижнее крайнее положение, закрепляют на рамке 5 в положении высоты, равной диаметру протектора новой шины 10 (диаметр протектора указан заводом на шине).

После этого гидроцилиндр 15, гидравлическую линию 16 и стеклянную трубку 17 заполняют окрашенной жидкостью до нулевой отметки на её шкале 18. Затем колесо 9 с испытываемой шиной 10 устанавливают осью 8 на П-образную поворотную рамку 5, которая закреплена осью 6 на раме 1, прижимают её нагрузочной пружиной 7 к рабочей поверхности бегового барабана 2 и включают электродвигатель 4, соединенный осью 3 с указанным барабаном.

При отсутствии износа протектора шины 10 ролик 12 не переместит шток 13 в гидроцилиндре 15, и уровень жидкости останется на нулевой отметке шкалы 18.

При длительной эксплуатации шины 10 диаметр её протектора в результате износа уменьшится и ролик 12 переместит шток 13 в гидроцилиндре 15 на величину уменьшения его радиуса, которое изменит уровень жидкости в трубке 17 и зафиксирует его на шкале 18.

Показание уровня жидкости в трубке сравнивают с допустимым уменьшением диаметра протектора, остаточная величина которого для шин грузовых машин составляет 1 мм, а диаметр протектора маркируется на шине, и принимают решение о замене шины или продолжении эксплуатации.

Выводы. Определение износа шины целесообразно проводить не по величине пробега, а по уменьшению её диаметра в результате износа протектора, определяемому на стенде. Применение предлагаемого стенда позволяет в автохозяйствах объективно определять износ работавших шин колёс автомобилей и своевременно заменять шины, диаметр протектора которых уменьшился до критической величины износа или допускать их эксплуатацию после окончания нормативного срока работы в лёгких условиях эксплуатации. В результате этого повышается безопасность эксплуатации автомобилей и возможность экономнее использовать шины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулгазис А. У. Влияние соотношения динамических радиусов ведущих колес на устойчивость автомобиля против заноса / А. У. Абдулгазис, М. А. Подригало, Д. М. Клец // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Вып. 11. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2008. – С. 10–15
2. Хабрат Н. И. Графоаналитический метод определения тангенциальной нагруженности сдвоенных неприводных колес транспортных средств / Н. И. Хабрат, У. А. Абдулгазис, А. У. Абдулгазис // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – № 4. – С. 29–30.
3. Подригало М. А. Исследования бокового увода автомобиля при разности динамических радиусов ведущих колес / М. А. Подригало, Д. М. Клец, А. У. Абдулгазис // Вісті Автомобільно-дорожнього институту : наук.-вироб. зб. – Горлівка : АДІ Дон НТУ, 2008. – № 2 (7). – С. 41–50.
4. Шины грузовых автомобилей, автобусов, троллейбусов : справочные данные // Грузовик &. – 2006. – № 7. – С. 17–20.
5. Шины пневматические для грузовых автомобилей, прицепов к ним, автобусов и троллейбусов. Технические условия : ГОСТ 5513-97. (Введ. с 1999-01-01, в Украине с 2000-01-01). – М. : Издательство стандартов, 2002. – 25 с.
6. Шины пневматические для легковых автомобилей и автобусов особо малой вместимости. Технические условия : ГОСТ 4754-97. (Введ. с 1999-01-01, в Украине с 1999-01-06). – М. : Издательство стандартов, 2003. – 25 с.
7. Абулгазис А. У. Переменность рабочего радиуса колеса как проявление неоднородности вертикальной жесткости шин автотранспортных средств / А. У. Абдулгазис, Н. Б. Аблаев, Ф. А. Алиев // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Выпуск 16. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2008. – С. 78–80.
8. Тарновский В. Н. Автомобильные шины / В. Н. Тарновский, В. А. Гудков, О. Б. Третьяков. – М. : Транспорт, 1990. – 272 с.
9. Методика определения процента износа шин транспортных средств [Электронный ресурс] // Сайт «Цитадель эксперт». – Режим доступа : http://www.citadel-expert.ru/articles/55/0/95/70.html.

УДК 620.91:662.97

Подзноев Г. П., Абдулгазис У. А., Абдулгазис А. У.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА ПОРШНЕВОГО ДВУХТАКТНОГО ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

У статті розглянуті термодинамічні особливості трансформації сонячної енергії в електричну за допомогою поршневого двигуна, що працює за рахунок нагрівання в відокремленої камері (теплоприемник) води до парової фази, що надходить потім під високим тиск в надпоршневії простір двигуна. Після здійснення корисної роботи адиабатного розширення відпрацьована парова фаза через теплообмінник віддає теплоту конденсатної воді, що надходить в теплоприемник.

Ключові слова: *сонячна енергія, параболічний концентратор, теплоприємник, принцип Стірлінга, двотактний поршневий двигун, теплообмінник, регенерація теплоти, конденсатор.*

В статье рассмотрены термодинамические особенности трансформации солнечной энергии в электрическую посредством поршневого двигателя, работающего за счет нагревания в обособленной камере (теплоприемник) воды до паровой фазы, поступающей затем под высоким давление в надпоршневое пространство двигателя. После совершения полезной работы адиабатного расширения отработанная паровая фаза через теплообменник отдает теплоту конденсатной воде, поступающей в теплоприемник.

Ключевые слова: *солнечная энергия, параболический концентратор, теплоприемник, принцип Стирлинга, двухтактный поршневой двигатель, теплообменник, регенерация теплоты, конденсатор.*

The paper considers the thermodynamic features of the transformation of solar energy into electrical energy by means of a piston engine that runs by heating in an isolated chamber (heat sink) to water vapor, then flows under high pressure in the engine space chamber. After making the useful jf adiabatic expansion, spent the vapor phase through the heat exchanger gives heat of the congensate water entering the heat sink.

Key words: *solar energy, a parabolic concentrator, a heat, the principle of a Stirling-stroke piston engine, heat exchanger, heat recovery, the capacitor.*

Постановка проблемы. В последнее время наиболее актуальной проблемой стала необходимость замены углеводородных энергоносителей на транспорте и энергоснабжении. Осознание конечности естественных ресурсов используемых в настоящее время энергоносителей на основе природных углеводородов и проблематичность воспроизводства синтетических аналогов, а также кумулятивное негативное воздействие продуктов их сгорания на глобальные экологические процессы требует разработки альтернативных источников энергии для жизнеобеспечения человека уже в ближайшие 50–60 лет.

Анализ публикаций. Наилучшей альтернативой для транспорта, как с точки зрения потенциальной энергоемкости, так и экологии, следует считать водород. Однако при неограниченности водных природных ресурсов водорода его получение требует соответствующей производственной инфраструктуры и внешних энергозатрат, сопоставимых с его собственной энергопотенцией, что значительно снижает экономическую эффективность его использования.

В этом отношении менее затратны также постоянно возобновляемые и экологически адекватные водороду энергии ветра и солнца, весьма активно используемые в последнее время. В общем балансе активности роста энергообеспечения этими альтернативными направлениями приоритеты отдаются ветроэнергостанциям. Это связано, в первую очередь, с большей ограниченностью возможности продуктивного временного диапазона использования солнечной энергии в зависимости от смены дня и ночи и состояния атмосферы. Максимальный поток солнечного излучения на уровне моря (на экваторе) – 1020 Вт/м^2 [1]. Реальное же среднесуточное значение потока солнечного излучения через единичный горизонтальный участок как минимум в три раза меньше (из-за смены дня и ночи и изменения угла солнца над горизонтом). Зимой в умеренных широтах это значение еще в два раза меньше, а с учетом метеорологического фактора практически малозначимо. И все же, не претендуя на универсальность и монополию, солнечная энергия в региональном плане может играть существенную роль в энергообеспечении, особенно на локальном коммунально-бытовом уровне [2].

Основными способами использования солнечной энергии в настоящее время являются:

- получение тепла путем прямого поглощения солнечного энергии приемной поверхностью;
- получение электроэнергии с использованием фотоэлементов;
- преобразование солнечной энергии в электрическую с помощью поршневых или турбинных тепловых машин.

Для варианта фотоэлектрического преобразования, вследствие теоретических ограничений, строительство крупных солнечных электростанций требует больших площадей (несколько десятков квадратных километров на производимую мощность 1 ГВт), что может привести к нарушению местного микроклимата. Кроме этого, стоимость солнечных фотоэлементов пока высокая, что снижает экономическую привлекательность этого направления, хотя быстрое снижение стоимости фотоэлектричества (от 60 долл. за 1 кВт/ч до 1 долл. в 80-е годы и 20–30 центов сегодня) и существенное повышение КПД преобразования энергии в фотоячейке в лабораторных условиях с 16–18% в середине 70-х годов до 28% в настоящее время для ячейки с кристаллическим кремнем и до 35% для ячейки с полупроводником на основе арсенида галлия (ячейка с двумя слоями, которые поглощают

различные части солнечного спектра) позволяет оптимистически смотреть на перспективы использования фотоэлементов.

Наиболее простым технологически и экономически эффективным способом является прямое преобразование солнечной энергии в тепловую путем нагрева теплоносителя (чаще всего воды). Солнечные коллекторы изготавливаются из доступных материалов (стали, меди, алюминия и т. д.) без применения дефицитного и дорогого кремния. В зависимости от температуры системы аккумулирования энергии обычно подразделяют на низкотемпературные (до 100°С), среднетемпературные (от 100 до 550°С) и высокотемпературные (>550°С). Область применения солнечных коллекторов – системы отопления жилых и производственных зданий, горячего водоснабжения, а также энергетические установки с низкокипящим рабочим телом, где уровень нагрева теплоносителя не превышает 50–80°С. При повышенных температурах они имеют сравнительно большой полный коэффициент потерь и низкий тепловой КПД. Практически полностью устранить потери теплоты в окружающую среду за счет теплопроводности и конвекции позволяют коллекторы с вакуумированным пространством между поглощающей поверхностью и окружающей средой.

Для низкотемпературного аккумулирования используют также обратимые реакции гидратации и сольватации солей и кислот и процессы фазового перехода. Для этих целей в качестве теплоаккумулирующих веществ используют парафины и эмульсии, состоящие из парафина и воды. В установке «Тегаадус», разрабатываемой в Швеции, используется процесс выделения тепла при гидратации сульфида натрия. Для среднетемпературного аккумулирования, в качестве теплоносителя используют соли и их эвтектики, характеризующиеся температурой плавления в несколько сот градусов и большой величиной скрытой теплоты фазового перехода. Весьма перспективны для подобного аккумулирования гидраты оксидов щелочноземельных металлов. Использование процессов аккумулирования реакций гидратации оксидов отличается целым рядом достоинств. Это высокая плотность запасаемой энергии, простое долгосрочное аккумулирование при температуре окружающей среды, компактность твердого энергоаккумулирующего вещества, низкая его стоимость, получение достаточно высокопотенциального тепла на стадии гидратации. Высокотемпературное аккумулирование осуществляется с помощью обратимых экзо-эндотермических реакций каталитического разложения.

Более эффективным является термодинамическое преобразование солнечного излучения в механическую с последующим получением электрической энергии.

Цель работы – провести термодинамическое моделирование идеализированного энергоцикла в системе «концентратор солнечной энергии – теплоприемник (камера формирования рабочего тела) – двухтактный поршневой двигатель – блок регенерации остаточной теплоты» с использованием части вырабатываемой электроэнергии для получения водорода и кислорода электролизом воды с последующей их аккумуляцией и сжиганием в этом же цикле в периоды отсутствия солнечного излучения.

Изложение основного материала. В большинстве существующих моделей подобных энергосистем концентрирующие коллекторы использовались для нагрева воды или воздуха до температур порядка нескольких сот градусов. Полученный пар или нагретый воздух используются для совершения механической работы по термодинамическому циклу. Однако солнечное излучение обладает низкой плотностью потока энергии, суточной и сезонной цикличностью, зависимостью от погодных условий. Поэтому при термодинамическом преобразовании этой энергии в электрическую приходится вводить дополнительный блок аккумуляторов электроэнергии для накопления и выравнивания режима потребления.

В общем виде термодинамический преобразователь солнечной энергии включает:

- систему улавливания падающей радиации;
- приемную систему преобразования солнечной энергии в тепло,
- теплоаккумулирующую матрицу;
- систему передачи теплоты рабочему телу;
- систему регенерации теплоты.

Возможны две принципиальные схемы конструкции термопреобразователей. В первой – в приемнике нагревается теплоноситель, в связи с чем обеспечивается тепловая загрузка аккумулятора. При этом рабочее тело нагревается от аккумулятора, который сглаживает изменения в поступлении солнечной радиации. Таким образом, аккумулятор постоянно играет роль буфера, а связь системы «приемник – аккумулятор» с тепловой машиной осуществляется с помощью, по меньшей мере, одного теплообменника. В этом случае часть теплоты дополнительно теряется в процессе теплообмена, а также существенно снижается температурный напор.

В системе энергоулавливания наименьшая степень концентрации (порядка 100) получается при использовании отражающих поверхностей, с упрощенной системой управления (параболоцилиндрические отражатели с горизонтальной

или перпендикулярной осью) без учета сезонного положения солнца. Более высокая степень концентрации энергии солнечного излучения (порядка 1000) достигается использованием двухстепенных параболических фокусирующих гелиостатов. Самая высокая степень концентрации (более 2000) осуществляется единичной оптической системой (плоские гелиостаты в жесткой связке с параболоидным отражателем). В принципе, используя достаточно большие концентраторы, можно получить в их фокусе очень высокую температуру (до 6000°С).

Для автоматических и полуавтоматических станций с переменной нагрузкой локального использования более эффективны поршневые двигатели, область рабочих режимов которых имеет больший диапазон при изменчивости поступления солнечной энергии. Наиболее эффективным рабочим телом в системе концентрации, аккумуляции, совершения работы и регенерации теплоты является вода. Чтобы добиться наиболее эффективных температур, необходимо на приемнике получить, с учетом потерь, как минимум 3000–5000-кратную концентрацию солнечной радиации.

Первой станцией подобного типа стала станция американской фирмы «Луз» в 1985 г. в калифорнийской пустыне Мохаве на площади 340 га [3]. При этом 65% электроэнергии станции производится за счет солнечной радиации, а 35% – с использованием природного газа для компенсации изменения солнечной радиации. Такие установки способны вырабатывать электроэнергию стоимостью менее 8 центов за кВ/ч.

Компания Stirling Energy System (США) с компанией Tessera Solar планируют запустить первый пилотный проект, в котором используются автономные параболические тарелки, фокусирующие солнечные лучи на приемник-преобразователь, расположенный непосредственно перед этой тарелкой. Новая солнечная электростанция в Пеория, штат Аризона (США) будет состоять из 60-ти «солнечных блюдец», которые будут выдавать 1,5 МВт чистой энергии. После успешного тестирования этой новой электростанции компания планирует начать строительство мощного энергетического комплекса в Калифорнии с потенциальной мощностью в 900 МВт.

Таким образом, определилось достаточно эффективное и перспективное направление использования солнечной энергии с помощью ее направленной концентрации на теплоприемник с последующим термодинамическим преобразованием в электроэнергию в поршневом двигателе. При моделировании не учитывались сопутствующие потери части энергии на этапе ее концентрации параболическим отражателем, аккумуляции в теплоприемнике, поршневом двигателе и системе регенерации теплоты.

За базовый прототип системы трансформации солнечной энергии выбрана модель Stirling Energy System – Tessera Solar, но в качестве рабочего тела принят водяной пар, что существенно облегчает регенерацию теплоты и упрощает процессы парораспределения в системе. В роли преобразователя тепловой солнечной энергии в механическую энергию вращения вала принят двухтактный поршневой двигатель с внешним формированием рабочего тела (принцип Стирлинга) и двойным действием поршневой группы [4].

Двигатель Стирлинга более эффективен в преобразовании солнечного излучения в электроэнергию (КПД 31%), чем большинство современных фотоэлектрических элементов (в продаже элементы с КПД 14–18%, в стадии испытаний – с КПД 24–41%) и солнечных электростанций концентрационного типа (параболические желоба – КПД 16%, башенные конструкции). В отличие от машины одиночного действия, где поршень перемещается в одну сторону силой расширяющегося пара, а обратно – за счёт момента инерции вращающегося маховика, в двигателях двойного действия свежий рабочий пар поочередно подается в обе стороны рабочего цилиндра, а отработанный пар выходит в конденсатор. Это повышает скорость работы двигателя и улучшает плавность хода, увеличивает примерно вдвое его мощность при работе с намного более легким маховиком.

Полный цикл двигателя занимает один оборот кривошипа и состоит из двух ходов поршня: расширение (рабочая фаза) и выпуск – сжатие – впуск. Выпускное окно цилиндра двигателя перекрывается несколько раньше, чем поршень доходит до своего крайнего верхнего положения, вследствие чего в цилиндре остается часть отработанного пара. Соответственно этому в цикле присутствует процесс сжатия, что замедляет движение поршня в его крайних положениях и устраняет резкий перепад давления в самом начале фазы впуска свежего заряда пара. Подобный эффект «паровой подушки» усиливается также тем, что впуск свежего пара в цилиндр начинается несколько раньше, чем поршень достигнет крайнего положения, то есть присутствует некоторое опережение впуска. Это опережение необходимо для того, чтобы перед тем, как поршень начнет свой рабочий ход под действием свежего пара, пар успел бы заполнить то мертвое пространство, которое возникает в результате предыдущей фазы, то есть каналы впуска–выпуска и неиспользуемый для движе-

ния поршня объем цилиндра. Отработанный пар поступает в специальный конденсатор, где он конденсируется в жидкую фазу (воду) и насосом высокого давления возвращается через теплообменник в теплоприемник солнечной энергии для формирования рабочего тела.

За основу расчета был принят вариант адекватности получаемой полезной работы рассматриваемого идеализированного регенеративного термодинамического цикла парового двухтактного поршневого двигателя таковой традиционного четырехтактного дизельгенератора. При этом в схему парового электрогенератора включена система регенерации теплоты отходящего пара с его адиабатной конденсацией в жидкую фазу и последующей ее подачей в теплоприемник насосом высокого давления.

Исходное количество солнечной энергии для условий Крыма, поступающей в теплоприемник электрогенератора, определялось исходя из данных табл. 1 с перерасчетом теплового потока на значение q_o (1912 Дж) для одного термодинамического цикла при 2000 об./мин. Этому значению соответствует площадь рефлекторной поверхности параболического концентратора в пределах 80 м^2.

Таблица 1.

Усредненные значения солнечной радиации в зависимости от широты местности [5].

Мес.	кВт·час/м^2 за световой день									
	Широта, град.									
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**
I	5,8	4,8	3,4	2,5	**1,3**	**0,5**	–	–	–	–
II	6,1	5,3	4,3	3,2	**2,0**	**1,0**	0,2	–	–	–
III	6,4	6,0	5,3	4,4	**3,4**	**2,2**	1,1	0,3	–	–
IV	6,3	6,3	6,1	5,6	**4,9**	**3,9**	2,8	1,7	0,6	0,1
V	5,8	6,3	6,5	6,4	**6,1**	**5,5**	4,6	3,6	2,9	2,3
VI	5,5	6,2	6,6	6,8	**6,7**	**6,4**	5,9	5,2	4,7	4,7
VII	5,4	6,1	6.6	6,8	**6,8**	**6,3**	6,0	5,3	5,0	4,9
VIII	5,7	6,2	6,3	6,5	**6,2**	**5,7**	5,0	4,0	3,2	3,0
IX	6,1	6,3	6,2	5,8	**5,1**	**4,3**	3,2	2,1	1,0	0,4
X	6,3	6,0	5,5	4,7	**3,7**	**2,6**	1,5	0,5	–	–
XI	6,1	5,4	4,5	3,5	**2,3**	**1,2**	0,4	–	–	–
XII	5,8	4,9	3,8	2,6	**1,5**	**0,5**	–	–	–	–

В серии расчетов проводилось определение температуры и давления в точках смены термодинамических процессов, суммарной вводимой и выводимой теплоты, термического КПД, коэффициента использования теплоты и полезной работы цикла в зависимости от значений основных характеристик цикла (табл. 2).

Таблица 2.

Основные термодинамические характеристики и параметры идеализированного цикла гелиодвигателя в сравнении с таковым традиционного дизеля.

Цикл	Дизель	Гелиодвигатель
ε	**17**	**10**
$q_{реген}$	–	2000
q_0	–	1912
q_1	5083	3912
q_2	1995	2375
q_3	1995	375
t_2	298	1100,5
t_3	850	1942,0
t_4	2246	–
t_5	1096	790,6
t_6	298	298
p_2	1,0	$13{,}0\cdot10^5$
$p_{3–4}$	48,5	$63{,}4\cdot10^5$
p_5	3,68	$2{,}6\cdot10^5$
$\eta_{терм}$	0,607	0,570
$\eta_{пит}$	0,607	0,904
Работа	3084	2230,0

В табл. 2 даны следующие параметры: ε – степень сжатия; $q_{реген}$ – количество теплоты регенерируемой оборотной водой, Дж; q_0 – теплота, введенная в процесс за счет солнечного излучения или сгорания, Дж; q_1 – суммарная теплота, введенная в цикл Дж; q_2 – теплота в конце адиабатного расширения; q_3 – остаточная теплота, выводимая из цикла в окружающую среду, Дж; t_2 – температура паровой фазы перед адиабатным сжатием (°К); t_3 – температура паровой фазы после адиабатного сжатия (°К); t_4 – температура газовой фазы в конце сгорания дизтоплива (°К); t_5 – температура газовой фазы в конце адиабатного расширения (°К); t_6 – температура воды после теплообменника; p_2 – давление перед адиабатным сжатием (10^5 Па); $p_{3–4}$ – давление в конце сжатия (в конце изобарного сгорания) (10^5 Па); p_5 – давление паровой фазы в конце адиабатного расширения (МПа); η – термический КПД; $\eta_{кит}$ – коэффициент полезного использования теплоты; А – полезная работа цикла.

Результаты сравнительных расчетов показывают, что гелиодвигатель отличается существенно более эффективными соотношениями термодинамических параметров и характери-

стик. Более высокое давление рабочего тела при его вводе в рабочий цилиндр значительно повышает давление в конце адиабатного сжатия, что при меньших значениях температуры дает лучший эффект адиабатного расширения на фоне более низких значениях температуры.

За счет регенерации теплоты общий тепловой баланс цикла гелиодвигателя при своем меньшем значении позволяет полностью использовать внешнюю энергию и часть регенерированной теплоты на совершение полезной работы. А, учитывая, что двухтактный двигатель за счет двухкратного уменьшения ходов поршня имеет адекватное увеличение мощности, то при одинаковых объемах цилиндра он будет в этом отношении во столько же раз эффективнее традиционного дизеля. Кроме этого, за счет подачи свежего заряда в момент, когда поршень находится на полпути к верхней мертвой точке и состав отработавшего пара ничем не отличается от такового рабочего тела, практически в два раза снижаются затраты работы вала на сжатие. К этому следует также добавить увеличение мощности за счет использования поршневой системы двойного действия, благодаря чему практически вся работа адиабатного расширения пойдет на генерацию электрического тока.

Выводы. Как следует из результатов проведенных исследований, подобного типа гелиодвигатель характеризуется высокими эксплуатационными характеристиками и эффективностью.

Если взять за основу данные табл. 1 в части количества солнечной энергии, приходящейся на 1 м^2 в июле на широте Крыма за световой день (6,8 кВт за условно 10 часов активной солнечной радиации), то для получения энергии, равной ее квоте на один рабочий цикл гелиодвигателя (1912 Дж) и с учетом коэффициента 0,8 на энергопотери до теплоприемника, потребуется 80,0 кВт/час первичной солнечной радиации при 2000 об./мин. При съеме с каждого м^2 около 0,7 кВт/час, площадь рабочей поверхности параболической установки в этом случае должна составить около 115 м^2 (диаметром 12 м^2) или же 6 параболических тарелок диаметром по 5 м^2. Подобная система, с учетом получаемой в цикле работы, будет способна генерировать около 70 кВт/час электроэнергии (около 100 МВт в год при 200 полных солнечных днях в году и 1430 часов наработки), или в 1,4 раза больше, чем традиционный дизель-генератор за это же время, экономя при этом почти 20 кг (25 дм^3) в час дизтоплива или около 30 т за год, что по состоянию на июль 2011 г. составит 30000 евро. Срок окупаемости подобного гелиокомплекса современного уровня оценивается в 5–6 лет при условной чистой себестоимости 0,1 евро за кВт/час и с учетом экономии дизтоплива. По мере же неуклонного роста стоимости углеводородного топлива срок окупаемости будет снижаться.

При стоимости 1 кВт установочной мощности гелиодвигателя в пределах 400–500 евро, общие капитальные затраты на приведенный выше вариант электрогенерирующего комплекса составят 30–35 тыс. евро.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солнечная энергетика. Характеристика солнечной радиации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.bibliotekar.ru/alterEnergy/25.htm.
2. Энергия Солнца. Интересные факты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.1interesnoe.info/2009/12/ehnergiya-solnca/bibliotekar.ru/alterEnergy/25.htm.
3. Солнечная электростанция [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.facepla.net/.../300-stirling-energykick-off-its-first-plant.
4. Будущее солнечной энергетики в двигателях Стирлинга [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ecofuture.ucoz.ru/publ/chistaja./3-1-0-9.
5. Общая характеристика солнечной радиации [Электроный ресурс]. – Режим доступа : http://www.new-h.ru/solnd.php?wr=265.

РАЗДЕЛ 2. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 514.18

Подригало Н. М.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗУБЧАТОЙ ПАРЫ В ГРАФИЧЕСКОМ ПАКЕТЕ AUTODESK INVENTOR

Представлено опис алгоритму створення параметричної 3D моделі циліндричної прямозубої пари трансмісії колісної машини в графічному пакеті Autodesk Inventor 2009 з урахуванням можливості автоматизованої зміни її розмірів при зміні вихідних параметрів двигуна.

Ключові слова: *Autodesk Inventor, алгоритм, параметрична модель, циліндрична прямозуба пара.*

Представлено описание алгоритма создания параметрической 3D модели цилиндрической прямозубой пары трансмиссии колесной машины в графическом пакете Autodesk Inventor 2009 с учетом возможности автоматизированного изменения ее размеров при изменении выходных параметров двигателя.

Ключевые слова: *Autodesk Inventor, алгоритм, параметрическая модель, цилиндрическая прямозубая пара.*

Is presented the description of the algorithm creating a parametric 3D model of spur pair of wheel machine's transmission in a graphics package Autodesk Inventor 2009 with the possibility of automated changes its size when the output parameters of the engine are vary.

Key words: *Autodesk Inventor, an algorithm, a parametric model, a pair of spur.*

Постановка проблемы. При составлении кинематической схемы трансмиссии колесных машин необходимо стремиться к обеспечению функциональных свойств при минимальных габаритах, массе конструкции, а также приведенных моментах инерции. При этом следует учитывать возможность изменения тягового класса проектируемой машины. Такие требования диктуют необходимость создания компьютерной параметрической модели для проектируемой схемы трансмиссии.

Анализ литературы. Имеющийся в графическом пакете Autodesk Inventor 2009 модуль для генерирования компонентов зубчатых колес (описанный в руководстве пользователя) позволяет произвести расчет геометрии зубчатой пары и ее выносливости по контактным и изгибным напряжениям. При этом необходимо предварительно рассчитать от 5-ти до 7-ми параметров геометрии колес (в зависимости от модели расчета). В результате такого расчета получаются числовые значения, а не параметры, это удобно для единичного расчета, но не дает возможности автоматически изменять размеры зубчатых колес трансмиссии при изменении передаточного отношения передачи, мощности или частоты вращения вала двигателя. Один из вариантов автоматизации процесса моделирования зубчатых пар – создание пользовательских приложений с помощью интерфейса прикладного программирования (API) с использованием среды VBA (Visual Basic for Application) [1; 2]. Еще один способ – использование заложенной в Autodesk Inventor возможности импорта данных из Microsoft Excel.

Целью статьи является описание и иллюстрация возможности усовершенствования алгоритма создания модели зубчатой пары, заложенного в пакете Autodesk Inventor.

Изложение основного материала. Для расчета параметров зубчатой пары предлагается использовать пакет Microsoft Excel. Размеры отверстий в ступицах колес следует принять условно, так как расчет размеров валов в данной работе не производится. Предлагаемый алгоритм создания модели зубчатой пары:

- создание в Excel электронной таблицы автоматизированного расчета геометрических параметров зубчатого колеса – результаты всех экспортируемых в Inventor параметров следует вынести на первый лист электронной таблицы, а расчеты этих параметров, выполняемые с использованием стандартных методик ([3–5]), производить на последующих листах;
- создание в среде сборки Inventor зубчатой пары с помощью «Генератора компонентов зубчатых колес» (рис. 1, 2);
- установка связи таблицы параметров каждого колеса с созданной в Excel базой и замена в колонке «Формула» таблицы параметров модели зубчатого колеса числовых значений восьми размеров параметрами расчетной базы Excel (рис. 3);
- внесение изменений в первоначальную форму дисков зубчатых колес и установление связи ее размеров с параметрами (рис. 4).

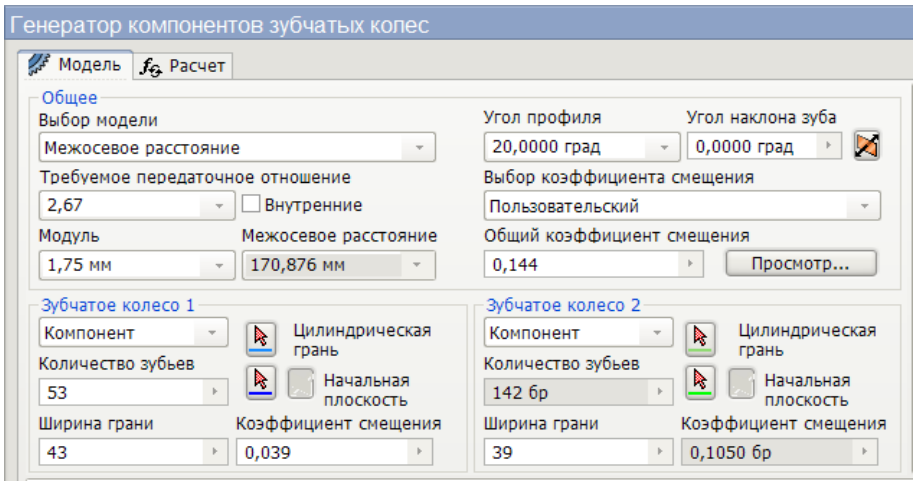

Рис. 1. Пример расчета модели зубчатой пары с помощью «Генератора компонентов зубчатых колес».

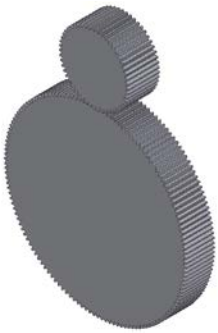

Рис. 2. Модель зубчатой пары, созданной с помощью «Генератора компонентов зубчатых колес».

Имя параметра	Ед.	Формула	Номин. знач.
Параметры модели			
d0	мм	da_da	96,383735
d1	мм	da_b	43,000000
d2	град	0 град	0,000000
d3	мм	da_dw	92,886233
d5	град	0 град	0,000000
d16	мм	da_aw	170,875618
d17	мм	0,0 мм	0,000000
d34	град	180 град / da_z	3,396226
d39	мм	0 мм	0,000000
da_z2	бр	142,00000000 бр	142,000000
da_z	бр	53,00000000 бр	53,000000
da_straighttooth	бр	1 бр	1,000000
da_righttooth	бр	0 бр	0,000000
da_lefttooth	бр	0 бр	0,000000
da_dw	мм	92,88623323 мм	92,886233
da_df	мм	88,51150000 мм	88,511500
da_da	мм	96,38373548 мм	96,383735
da_d	мм	92,75000000 мм	92,750000
da_beta	град	0,0000 град	0,000000
da_b	мм	43,00000000 мм	43,000000
da_aw	мм	170,87561774 мм	170,875618
d41	мм	0 мм	0,000000
d43	мм	da_aw	170,875618
d46	мм	da_aw	170,875618
d47	мм	0,0 мм	0,000000
d48	мм	0,0 мм	0,000000

а

Имя параметра	Ед.	Формула	Номин. знач.
Параметры модели			
d0	мм	da_da	96,384588
d1	мм	da_b	43,000000
d2	град	0 град	0,000000
d3	мм	da_dw	92,886598
d5	град	0 град	0,000000
d16	мм	da_aw	170,000000
d17	мм	0,0 мм	0,000000
d34	град	180 град / da_z	3,396226
d39	мм	0 мм	0,000000
da_z2	бр	z4	141,000000
da_z	бр	z3	53,000000
da_straighttooth	бр	1 бр	1,000000
da_righttooth	бр	0 бр	0,000000
da_lefttooth	бр	0 бр	0,000000
da_dw	мм	dw3	92,886598
da_df	мм	df3	88,512353
da_da	мм	da3	96,384588
da_d	мм	m3_4 * z3	92,750000
da_beta	град	0,0000 град	0,000000
da_b	мм	bw3	43,000000
da_aw	мм	aw_u34	170,000000
d41	мм	0 мм	0,000000
d43	мм	da_aw	170,000000
d46	мм	da_aw	170,000000
d47	мм	0,0 мм	0,000000
d48	мм	0,0 мм	0,000000

б

Рис. 3. Таблица параметров зубчатого колеса: а) до замены числовых значений параметрами; б) после замены числовых значений параметрами.

Создав таким образом модель зубчатой пары, мы получили возможность, изменяя в расчетной таблице Excel передаточное число, крутящий момент или требования к прочности, автоматически изменять готовую модель. На рис. 4 показан пример, как могут измениться не только размеры, но и форма элементов зубчатой пары при изменении крутящего момента.

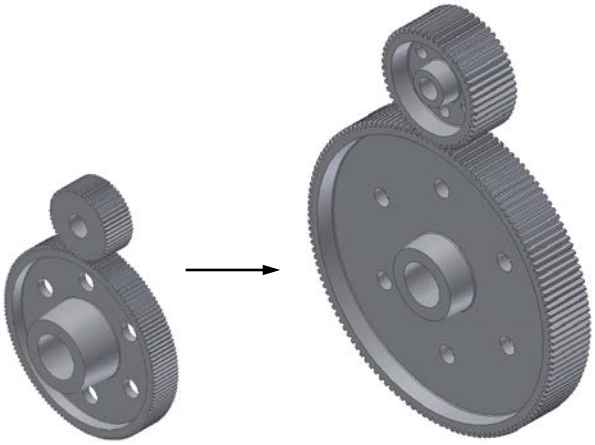

Рис. 4. Изменение модели зубчатой пары трансмиссии при увеличении крутящего момента в 4 раза.

Выводы.

1. Предложенный алгоритм моделирования зубчатых пар трансмиссии средствами программных пакетов Autodesk Inventor и Microsoft Excel позволяет производить автоматическое изменение размеров и формы модели зубчатой пары при изменении параметров двигателя (мощности, крутящего момента), передаточного отношения, а также прочностных характеристик пары.

2. Предложенный алгоритм моделирования позволяет создать базу моделей различных по конструкции зубчатых пар трансмиссии, которая может быть использована при проектировании новых схем трансмиссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стремнев А. Практические аспекты использования Autodesk Inventor API [Электронный ресурс] / Александр Стремнев. – Режим доступа : http://www.sapr.ru/article.aspx?id=20656&iid=941.
2. Синтез цилиндрических зубчатых передач [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.cadforum.ru/art/spurgears/.
3. Иванов М. Н. Детали машин : учебник для студентов высш. техн. учеб. заведений / М. Н. Иванов. – [5-е изд., перераб.]. – М. : Высшая школа, 1991. – 383 с.
4. ГОСТ 16532-70.
5. Киркач Н. Ф. Расчет и проектирование деталей машин : учеб. пособие для техн. вузов / Н. Ф. Киркач, Р. А. Баласанян. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – Харьков : Основа, 1991. – 276 с.

УДК 621.91

Менумеров Э. Р., Якубов Ч. Ф., Аметов И. Э.

ИЗМЕНЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОТС РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРИРОДЫ ЗА СЧЕТ ИХ МОДИФИЦИРОВАНИЯ

В роботі розглядається вплив антиоксидантних присадок на в'язкість змащувально-охолоджувальних технологічних середовищ, виготовлених на основі рослинних олій. Показаний незначний вплив антиоксидантів на кінематичну і динамічну в'язкість, особливо помітний при температурах більш ніж 80°С.

Ключові слова: *рослинна олія, антиоксидант, α-токоферол, в'язкість, плотність, ЗОТС.*

В работе рассматривается влияние антиоксидантных присадок на вязкость смазочно-охлаждающих технологических сред, изготовленных на основе растительных масел. Показано незначительное влияние антиоксидантов на кинематическую и динамическую вязкость, особенно при температурах свыше 80°С.

Ключевые слова: *растительное масло, антиоксидант, α-токоферол, вязкость, плотность, СОТС.*

In article influence antioxidant additives on viscosity-temperature properties vegetable oils based metalworking fluids is considered. Insignificant influence of antioxidants on the kinematic and dynamic viscosity, especially appreciable is shown at low temperatures.

Key words: *vegetable oils, antioxidant, α-tocopherol, viscosity, density, LCTM.*

Постановка проблемы. Одними из важнейших эксплуатационных характеристик смазочных материалов, регламентируемых ГОСТ, являются их реологические свойства (вязкостные и вязкостно-температурные). Вязкость (внутреннее трение) как свойство жидкости создавать сопротивление внешним силам перемещения проявляется при любых условиях резания в присутствии СОТС. Техническое значение вязкости смазочных масел определяется прежде всего влиянием этого свойства на силы трения и износ смазанных трущихся поверхностей.

Анализ литературы. Согласно полученным данным [1] антиоксиданты (АО) способствуют повышению окислительной стойкости растительных масел и облегчению процесса резания. Именно низкая окислительная стойкость растительных масел является одним из главных сдерживающих факторов применения последних в качестве СОТС. В работе [1] на основе экспериментальных данных и анализа физико-химических свойств смешиваемых компонентов СОТС показана возможность применения в качестве эффективных присадок соединений на основе недорогого, природного и экологически безвредного антиоксиданта – витамина Е (α-токоферола). Однако в настоящее время сведения о влиянии АО на внутреннее трение растительных масел ограничены и практически не изучены зависимости их вязкости от температуры внешней среды.

В работе [2] исследовались вязкостно-температурные свойства растительных масел с различной концентрацией примесей на основе АО. Увеличение или уменьшение вязкости зависело от вида растительного масла и смеси АО растворенного в нем. Однако в данной работе использовались генно-модифицированные растительные масла и синтетические АО.

Вязкостные свойства, характеризующие работу сопряжения при трении, оцениваются показателями динамической и кинематической вязкости. Динамическая вязкость используется при расчетах сил трения согласно гидродинамической теории смазки. Теоретические основы учения о полной жидкостной смазке были сформулированы Н. П. Петровым [3], при этом зависимость коэффициента трения от динамической вязкости имеет вид:

$$f = \frac{\eta \upsilon}{Ph}, \qquad (1)$$

где η – динамическая вязкость жидкости;
υ – скорость перемещения движущихся поверхностей;
P – удельная нагрузка на движущуюся поверхность;
h – толщина слоя смазки.

Рад фактов свидетельствует о том, что в различных режимах смазки вязкость масел является не единственным фактором, определяющим трение. Растительные масла и животные жиры в большинстве случаев обеспечивают более низкое трение, чем равновязкие с ними минеральные масла. Олеиновая и хлорстеариновая кислоты снижают коэффициент трения и расширяют область жидкостной смазки, практически не влияя на вязкость.

Свойство, обусловливающее разницу в трении большую, чем разница, связанная с вязкостью масел, получило название маслянистости. Она играет основную роль в граничном режиме смазки. Б. В. Дерягин, А. С. Ахматов, М. М. Кусаков [3] и другие считают, что маслянистость является следствием упругости, повышенной вязкости и других механических свойств жидкости в поверхностном слое на границе с твердым телом.

Кинематическая вязкость становится важной вследствие целесообразности применения растительных масел в качестве СОТС при помощи устройств минимизированной подачи. Именно кинематическая вязкость определяет процессы смесеобразования в устройствах подачи СОТС, в частности форму и строение факела, размеры образующихся капель, дальность проникновения капель в зону резания и т. п.

Целью данной **работы** является определение степени влияния АО на вязкостные характеристики СОТС растительной природы.

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- определить зависимость кинематической вязкости от температуры масел;
- измерить плотность масел при различных температурах;
- расчитать и построить зависимость динамической вязкости от температуры масел.

Изложение основного материала. В соответствии с поставленными задачами исследовались подсолнечное и рапсовое растительные масла как наиболее распространенные в нашей стране, имеющие подходящие для СОТС физико-химические свойства, а также высокие трибологические характеристики [4]. В качестве антиоксиданта использовался α-токоферол (витамин Е), концентрация которого в подсолнечном масле составляла 4%, в рапсовом 3%.

Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости проводились согласно ГОСТ 33-2000 (ISO 3104-94). Сущность метода заключалась в измерении времени истечения определенного объема испытуемой жидкости через калиброванный стеклянный капилляр под влиянием силы тяжести при постоянной

температуре. При этом величина кинематической вязкости (в мм^2/с) жидкостей определяется произведением измеренного времени истечения на постоянную прибора. В настоящей работе для измерения вязкости масел использовался капиллярный вискозиметр типа ВПЖТ-2 (ГОСТ 10028), обеспечивающий варьирование температуры исследуемой жидкости в пределах 20…100°С, измерение температуры осуществлялось посредством термометров типа ТИН-10 (ГОСТ 400) с точностью ±0,05°С, плотности – ареометром АНТ-1 по ГОСТ 18481-81.

Динамическая вязкость масел рассчитывалась по соотношению:

$$\eta = \frac{\nu \times \rho}{1000},$$

где η – динамическая вязкость (сПз);
ν – кинематическая вязкость (мм^2/с);
ρ – плотность масла (кг/м^3).

Согласно поставленным задачам, на начальном этапе определялась зависимость кинематической вязкости от температуры растительных масел (рис. 1).

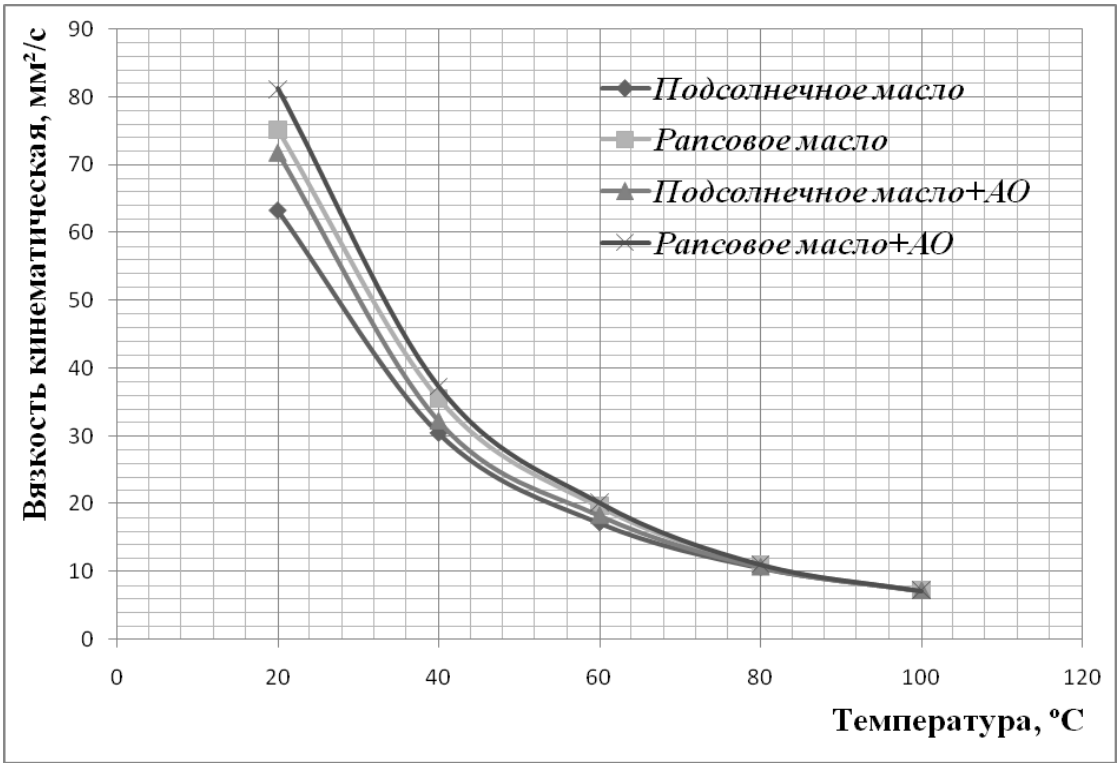

Рис. 1. Зависимость кинематической вязкости от температуры масел.

СОТС в распыленном состоянии подаются в зону резания путем их смешивания и сжатого воздуха в виде аэрозоля. Смешивание смазывающей среды со сжатым воздухом может осуществляться как в специальном резервуаре предварительно, так и непосредственно в распылительных дюзах [5].

При этом данные СОТС не нагреваются и имеют температуру окружающей среды. Это обстоятельство позволяет раскрыть положительные и отрицательные стороны увеличения кинематической вязкости модифицированных АО масел при температурах, близких к 20ºС, в которых и находятся СОТС до подачи в зону резания.

Повышение вязкости модифицированных масел при 20ºС (на 7 мм^2/с в случае с рапсовым и на 9 мм^2/с – подсолнечным маслами) в значительной мере может определить процессы смесеобразования в устройствах минимизированной подачи, форму факела СОТС, размеры образующихся капель, проникающую способность. В частности, затрудняется прохождение СОТС через подающее устройство; ухудшается распыливание СОТС (образуются крупные капли); уменьшается дальнобойность струи СОТС; загрязняются сопла распылителей форсунок и т. п. Однако низкая плотность и вязкость, обеспечивая лучшее распыливание СОТС, увеличивают подтекание и просачивание СОТС во всех зазорах и неплотностях, что приводит к увеличению расхода дорогостоящих СОТС; ухудшает смазывающие свойства СОТС; увеличивает «туманность» при работе с СОТС, что неблагоприятно влияет на здоровье человека (затрудняется дыхание и раздражаются слизистые оболочки).

В соответствии с методикой исследований для расчета динамической вязкости определялась плотность исследуемых масел при различных температурах (рис. 2).

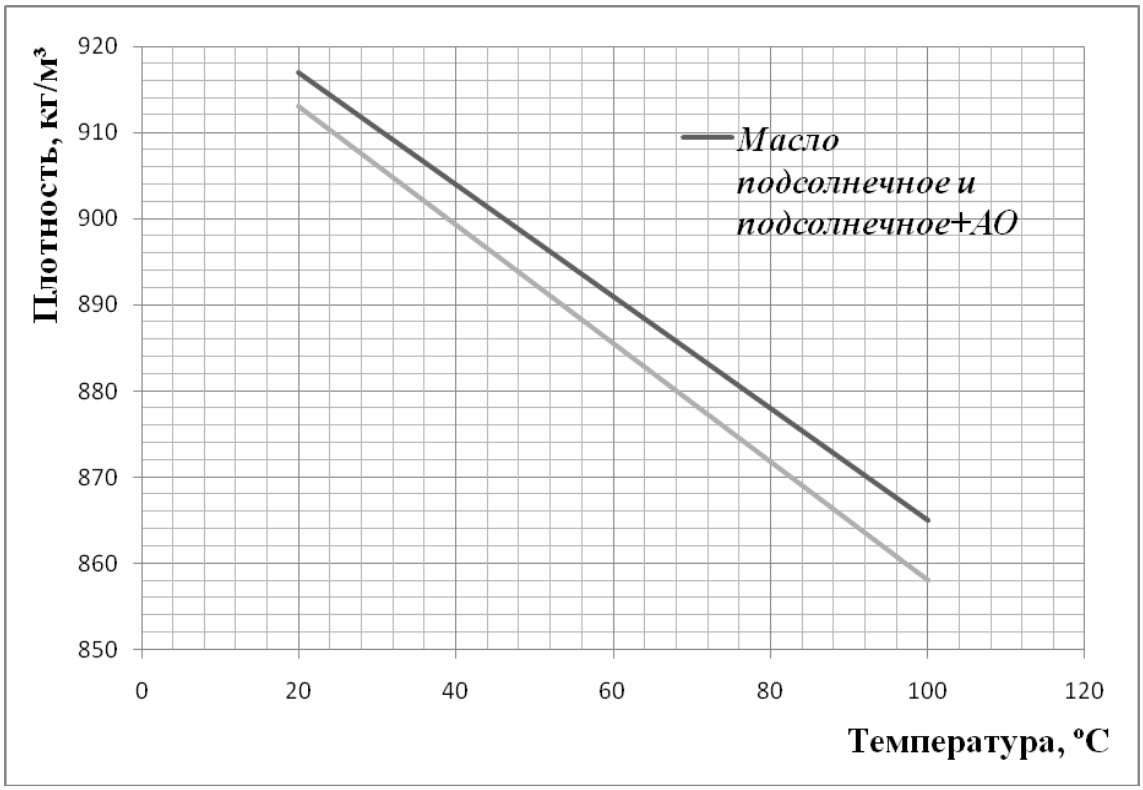

Рис. 2. Зависимость плотности от температуры масел.

Так как составы подсолнечного и рапсового масел очень схожи, плотности этих масел практически одинаковы (различие в среднем составляет ≈ 6 кг/м^3).

Полное отсутствие влияние АО на плотность исходных масел объясняется схожестью строения молекул витамина Е и триглицеридов растительных масел, а также очень малой концентрацией АО в маслах.

Определив кинематическую вязкость и плотность при различных температурах, бала рассчитана и построена зависимость динамической вязкости (коэффициента внутреннего трения) от температуры (рис. 3).

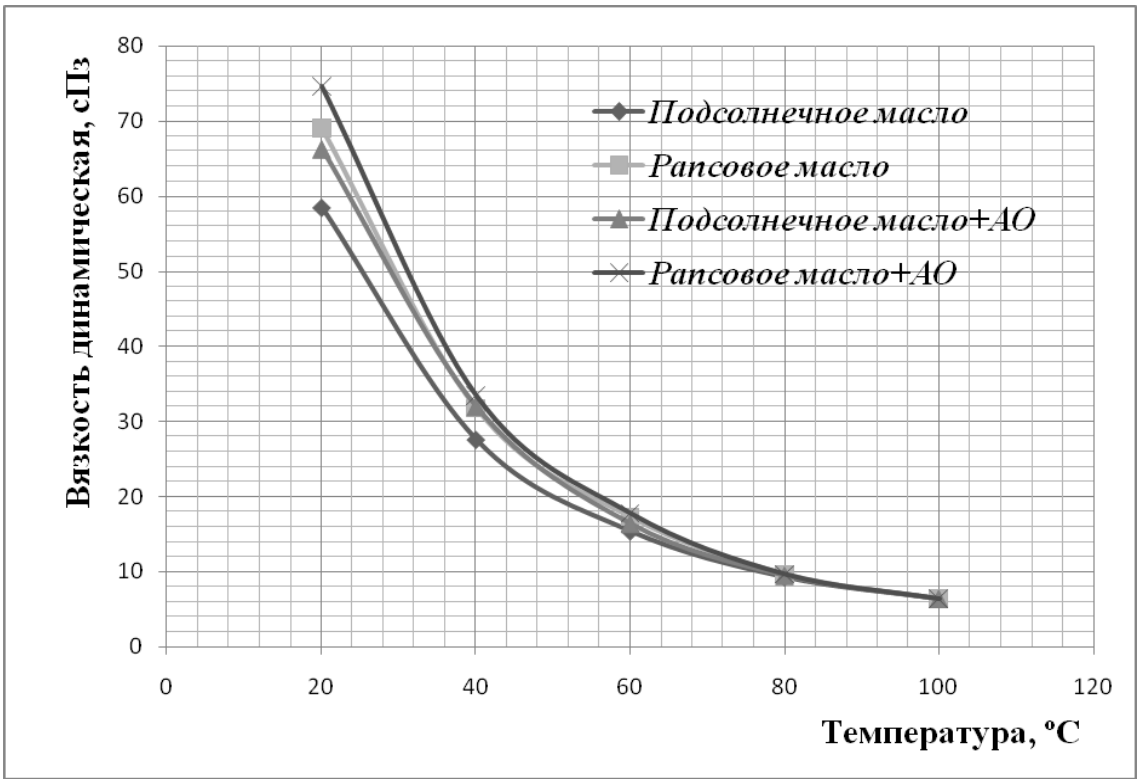

Рис. 3. Зависимость динамической вязкости от температуры масел.

Обращает внимание различие в динамических вязкостях чистых подсолнечного и рапсового масел. В некоторых случаях этот показатель можно считать отличительной чертой рапсового масла, так как при этом плотности изучаемых растительных масел практически одинаковы (см. рис. 2). Это можно объяснить тем, что, хотя составы рапсового и подсолнечного масел близки между собой, имеются различия в количественном выражении. В молекулы триглицеридов рапсового масла входят кислотные остатки с большей длиной углеводородной цепи и, соответственно, большей молекулярной массой. Также вязкость снижается со степенью ненасыщенности жирных кислот (степень ненасыщенности жирных кислот подсолнечного масла выше, чем рапсового).

Влияние АО на повышение динамической вязкости в маслах происходит лишь при невысоких температурах. Особенно заметно увеличение вязкости при 20ºС в случае с подсолнечным маслом (~ 14%), по сравнению с рапсовым (~ 8%), что связанно со степенью ненасыщенности жирных кислот первого и, как следствие, с большим содержанием в нем АО.

Модифицированное подсолнечное масло имеет практически такую же вязкость, как и чистое рапсовое масло, чем, в принципе, нивелирует отличительную черту последнего.

Вязкость жидкостей обусловлена межмолекулярным взаимодействием, ограничивающим подвижность молекул. В жидкости молекула может проникнуть в соседний слой лишь при образовании в нем полости, достаточной для перескакивания туда молекулы. На образование полости (на «рыхление» жидкости) расходуется так называемая энергия активации вязкого течения. Энергия активации уменьшается с ростом температуры и понижением давления. В этом состоит одна из причин резкого снижения вязкости в жидкостях с повышением температуры и роста ее при высоких давлениях.

Величина вязкости жидкостей зависит от химической структуры их молекул. В рядах сходных химических соединений (насыщенные углеводороды, спирты, органические кислоты и т. д.) вязкость изменяется закономерно – возрастает с возрастанием молекулярной массы.

Высокая вязкость растительных масел объясняется большим размером их молекул. Две жидкости различной вязкости, которые не реагируют друг с другом при смешивании, обладают в смеси средним значением вязкости. Если же при смешивании образуется химическое соединение, то вязкость смеси может быть значительно больше, чем вязкость исходных жидкостей.

С этим обстоятельством, а именно полным смешиванием α-токоферола, являющегося производным циклического ненасыщенного спирта токола, с маслом происходит общее повышение вязкости модифицированных растительных масел. Также повышение вязкости связано с достаточно большими размерами молекул токоферола.

Практически полное отсутствие влияния АО на вязкость масел при повышенных температурах свидетельствует о том, что АО уже после 80ºС практически не меняют реологических свойств СОТС. Это обстоятельство позволяет в дальнейшем не принимать во внимание изменение вязкости модифицированных СОТС в реальных условиях обработки металлов резанием, температура которых значительно выше 80ºС, после которых АО не влияют на вязкость.

Повышение же вязкости при низких температурах противоречиво влияет на эксплуатационные свойства СОТС растительной природы. С одной стороны, увеличение вязкости благоприятно влияет на смазывающую способность масел и снижает «туманность» при подаче СОТС в виде аэрозоли в зону резания. С другой стороны, при этом уменьшается дальнобойность струи СОТС (увеличивается диаметр образующихся при распылении капель) и, как следствие, их проникающая способность.

Таким образом, проведенные исследования показывают возможность существенного повышения технико-эксплуатационных качеств СОТС на основе растительных масел путем дозированного введения в их состав антиоксиданта – природного, биологически безвредного α-токоферола (витамина Е).

ЛИТЕРАТУРА

1. Менумеров Э. Р. Повышение окислительной стойкости СОТС растительной природы присадками из антиоксидантов / Э. Р. Менумеров, Ч. Ф. Якубов // Высокие технологии в машиностроении. – Харьков, 2009. – Вып. 1(18). – С. 123–131.
2. Binggeli M. New ester based metalworking fluids / M. Binggeli // Einsatz in der spanenden Fertigungstechnik. – Stuttgart, 2001. – S. 198–210.
3. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах / Б. И. Костецкий. – К. : Техника, 1970. – С. 168–171.
4. Менумеров Э. Р. О возможности повышения эксплуатационных характеристик СОТС на основе растительных масел / Э. Р. Менумеров, Ч. Ф. Якубов, И. Э. Аметов // Вестник Хмельницкого национального университета. – Хмельницкий, 2006. – Вып. 6. – С. 44–48.
5. Weinert K. Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung / K. Weinert // Einsatz in der spanenden Fertigungstechnik. – Berlin, 1998. – S. 126–132.

УДК 621.85.058

Хабрат Н. И., Умеров Э. Д.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ САМОНАТЯЖНОЙ РЕВЕРСИВНОЙ РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ

У статті наведена конструкція і методика розрахунку основних геометричних параметрів самонатяжної клинопасової передачі.

Ключові слова: *пасова передача, самонатяжна передача, автоматичне натягнення пасів, пасова передача з натяжним роликом.*

В статье приведена конструкция и методика расчета основных геометрических параметров самонатяжной клиноременной передачи.

Ключевые слова: *ременная передача, самонатяжная передача, автоматическое натяжение ремней, ременная передача с натяжным роликом.*

The article describes the design and methodology of calculation of the basic geometric parameters automatic tensioning V-belt transmission.

Key words: *belt drive, of a self-tension transmission, automatic tensioning belts, belt drive with tensioning roller.*

Постановка проблемы. Клиноременные передачи нашли широкое применение в приводах машин благодаря положительным ее свойствам передавать нагрузку на значительные расстояния, возможности работы при высоких окружных скоростях, простоте конструкции исполнения, эксплуатации и др. Для передачи нагрузки ремням создается начальное натяжение.

Анализ литературы. Наиболее рациональной конструкцией ременной передачи, в которой необходимое оптимальное натяжение ремню создается автоматически в зависимости от передаваемой нагрузки [1], является самонатяжная ременная передача типа Sespa, позволяющая повысить долговечность приводных ремней, снизить энергозатраты на их техническое обслуживание [2] и многие другие ее положительные свойства [3]. К недостаткам этой передачи следует отнести в первую очередь нестабильность первоначально созданного натяжения ремню вследствие его удлинения в процессе эксплуатации [4].

Имеющаяся у эксплуатационников тенденция к созданию повышенного начального натяжения с целью повышения надежности привода приводит к снижению долговечности как самого ремня, так и подшипниковых опор, усталостной прочности валов и др.

Установлено, что при бесконтрольной установке начального натяжения приводным ремням в условиях эксплуатации превышает 20% номинального [5]. Известно также, что увеличение суммарных напряжений в ремне всего лишь на 4% снижает их долговечность от 26 до 56% в зависимости от их конструктивного исполнения.

В случае же постепенного увеличения передаваемой нагрузки, более номинальной, интенсивность скольжения (потери скорости) резко увеличивается у передачи с жестким закреплением осей шкивов, менее интенсивно при автоматическом создании и поддержании натяжения в ведомой ветви (автоматическом натяжении). У самонатяжной же передачи натяжение в ветвях создается автоматически за счет использования реактивного момента, например, на статоре электродвигателя, и таким, каково оно необходимо (в зависимости от передаваемой мощности). Однако отметим при этом, что такой режим работы передачи обуславливается только при рационально выбранных параметрах этой передачи.

Из технических источников известны самонатяжные передачи, в которых натяжение ремню создается автоматически путем смещения одного из шкивов под действием реактивного момента, воздействующие на элементы привода [6; 7].

В работе [6] приведены экспериментальные и аналитические обоснования величины эксцентриситета оси качания приводного электродвигателя самонатяжной клиноременной передачи. При этом экспериментальные и расчетные значения эксцентриситета оси качания шкива близки по своей величине.

Из средств технической информации известны самонатяжные передачи с натяжным роликом, в которых натяжение ремню создается реактивным моментом от двигателя, на статор которого закреплен натяжной ролик.

Такие самонатяжные передачи с натяжным роликом [8] не получили применения в приводах машин из-за отсутствия рекомендаций по выбору их основных геометрических параметров, обеспечивающих работу этих передач в оптимальном режиме натяжения приводных ремней.

Цель данной **работы** – обоснование основных параметров самонатяжной ременной передачи для проведения ее силового расчета.

Изложение основного материала. Нами для привода транспортера подачи зеленой массы к измельчителю машин ИЗМ-5 был разработан самонатяжной реверсивный клиноременной привод, представленный на рис. 1 [8]. Привод содержит электродвигатель 1, установленный балансирно качающимся в опорах 2; на валу электродвигателя закреплен ведущий шкив 3, охватываемый ремнем 4, который также охватывает ведомый шкив 5 и натяжной ролик 6. На статоре электродвигателя закреплен жестко рычаг 7 с натяжным роликом 6, уравновешиваемый грузом 8.

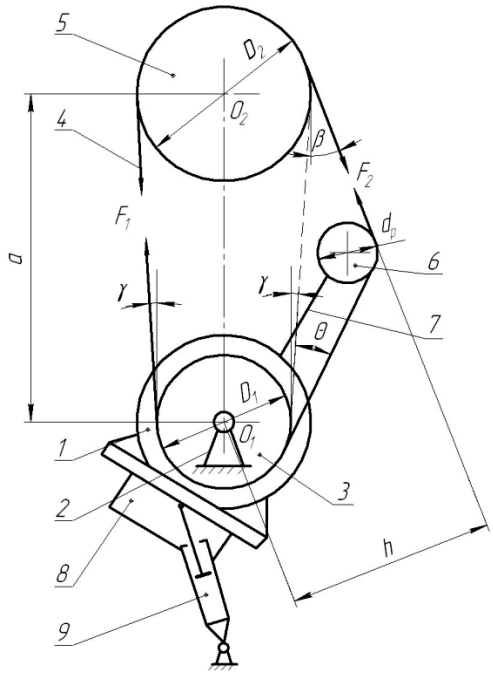

Рис. 1. Схема самонатяжного реверсивного клиноременного привода.

Работает этот привод следующим образом. При включении электродвигателя в работу крутящий момент от вала электродвигателя передается на шкив и далее последний преобразуется в окружное усилие в ремне, передаваемое им ведомому шкиву. При этом реактивный момент, воздействующий на статор электродвигателя, разворачивает последний вместе с натяжным роликом в направлении, обратном направлению вращения ведущего шкива. При этом натяжной ролик, воздействуя на ведомую ветвь, создает ей строго определенное, требуемое натяжение для передачи соответствующей нагрузки при правильно выбранных основных параметров этой передачи. При изменении направления вращения ротора электродвигателя все элементы самонатяжного ременного привода работают в обратном направлении.

Так как в приводах машин в основном используются асинхронные трехфазные электродвигатели, создающие значительные крутящие моменты при пуске, то с целью уменьшения его воздействия на ремень в приводе нами установлен гидравлический демпфер 9.

Соотношение натяжений в ведущей F_1 и ведомой F_2 ветвях передачи было установлено Л. Эйлером в 1775 г. и применительно к клиноременной передаче имеет вид:

$$F_1 / F_2 = \text{экс}\left[\alpha f \Big/ \left(\sin\frac{\varphi}{2}\right)\right], \qquad (1)$$

где f – коэффициент трения ремня по желобу шкива с углом φ;

α – угол упругого скольжения ремня по шкиву.

Для ответа на вопрос выбора рациональных параметров рассматриваемой передачи по рис. 1 составим уравнение моментов сил относительно оси ведущего шкива:

$$\sum M_{o1} = 0{,}5F_1D_1 - F_2h = 0. \qquad (2)$$

Заменив в уравнении (2) $h = 0{,}5D_2 + a\sin\beta$ и преобразовав его, получим:

$$\text{экс}\left[\frac{\alpha f}{\sin(\varphi/2)}\right] = u + (2a\sin\beta)/D_1, \qquad (3)$$

где в уравнениях (2) и (3) D_1, D_2 – диаметры ведущего и ведомого шкивов;

a – межосевое расстояние ременной передачи;

β – угол наклона ведомой ветви ременной передачи к межцентровой линии шкивов на участке между ведомым шкивом и натяжным роликом.

Рассмотрим последовательность выбора рациональных параметров (углов α и β) самонатяжной клиноременной передачи на примере привода транспортера машин ИЗМ-5 с геометрическими размерами D_1 = 140 мм, D_2 = 280 мм, $d_{нр}$ = 125 мм, a = 415 мм, γ = 9,5° (угол наклона касательных ветвей ремня к шкивам относительно межцентровой линии), f = 0,17 (коэффициент трения ремня по желобу шкива [9]); сечение клинового ремня Б (принято по рекомендации [10] в зависимости от частоты вращения ведущего шкива и передаваемой мощности).

В этом случае угол обхвата ведущего шкива составит:

$$\alpha = 180° - 2\gamma - \theta, \qquad (4)$$

где θ – угол наклона ведомой ветви клиноременной передачи к общей касательной между шкивами по рис. 1 на участке между ведущим шкивом и натяжным роликом.

С учетом зависимости (4) основное уравнение (3) для определения основных параметров самонатяжной передачи принимает вид:

$$\text{экс}\left[\frac{(180 - 2\gamma - \theta)f}{\sin(\varphi/2)}\right] = u + (2a\sin\beta)/D_1. \qquad (5)$$

Анализ уравнения (5) показывает, что оно аналитически неразделимо, т. к. в нем имеется одновременно два зависимых друг от друга параметра – углы β и θ, и, следовательно, составить дополнительное соотношение, исключающее один из этих параметров, не представляется возможным.

Для определения расчетным путем параметров β и θ используем графоаналитический метод последовательных приближений. Для этого левую и правую части уравнения (5) представим в виде отдельных функций:

$$Y_\alpha = \text{экс}\left[\frac{(180-2\gamma-\theta)f}{\sin(\varphi/2)}\right], \qquad (6)$$

$$Y_\beta = u + (2a\sin\beta)/D_1. \qquad (7)$$

На рис. 2 графически представлены зависимости (6) и (7) при произвольных углах α и β по оси абсцисс для конкретной передачи с параметрами, приведенными нами выше.

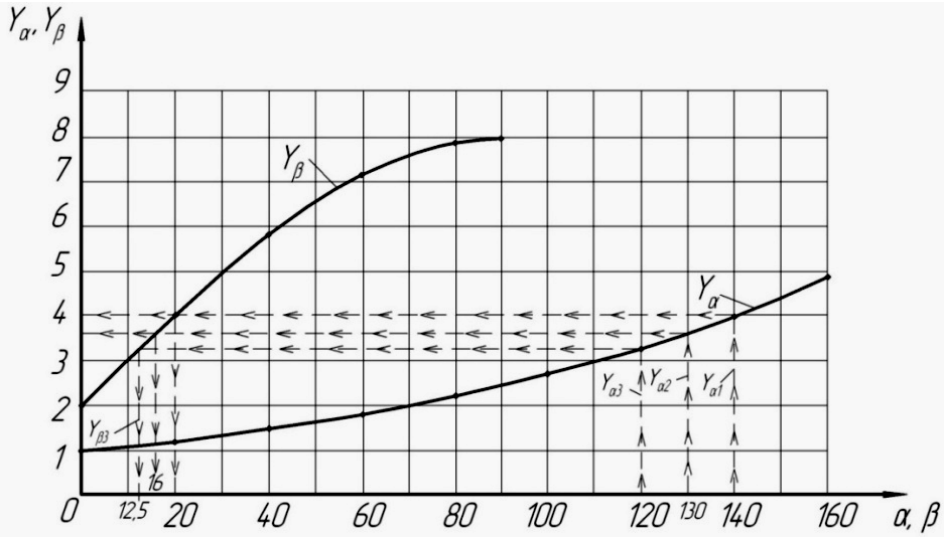

Рис. 2. Графические представления функций Y_α и Y_β в зависимости от α и β для клиноременной самонатяжной реверсивной передачи с заданными параметрами.

Решение вопроса по определению рациональных взаимозависимых параметров β и θ представим в следующей последовательности. Задавшись произвольно величиной угла θ (по зависимости (4)), определяем угол обхвата α ремнем ведущего шкива.

Отложив по оси абсцисс (рис. 3) величину этого угла α, проводим перпендикуляр до пересечения с кривой функции Y_α, а затем из полученной точки пересечения проводим горизонталь, пересекающую кривую функцию Y_β.

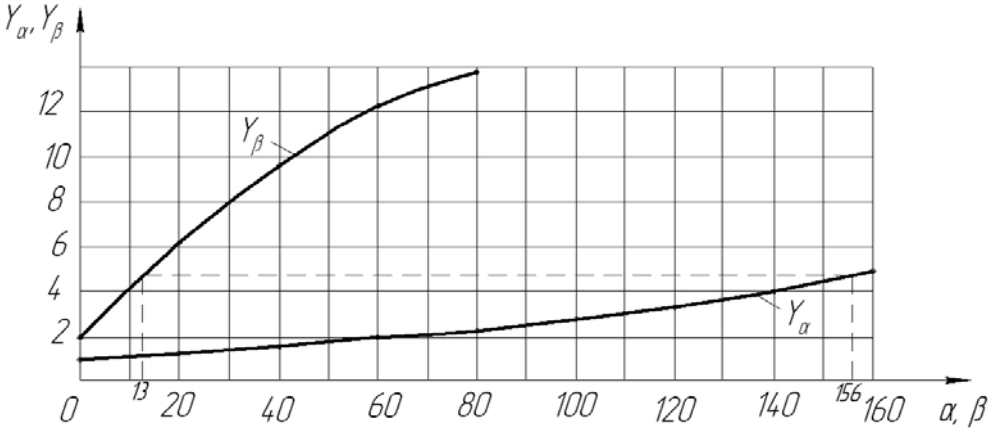

Рис. 3. Графическое представление функций Y_α и Y_β при увеличенном межосевом расстоянии для клиноременной самонатяжной реверсивной передачи.

По новым точкам пересечения находим величины функции Y_β и по осям абсцисс величину угла β. Подставив полученную величину угла β в уравнение (7), получим величину функции Y_β, которую и сравниваем с величиной функции Y_α. При равенстве численных значений функций Y_α и Y_β параметры β и θ соответствуют рациональной конструкции самонатяжной реверсивной клиноременной передачи. Ниже в табл. 1 приведен последовательный поиск по определению рациональных параметров β и θ для самонатяжной реверсивной клиноременной передачи.

Таблица 1.

Последовательный поиск оптимальных решений углов клиноременной передачи.

№	θ	α	Y_α	β	Y_β	Соотношение функций Y_α и Y_β
1	21	140	3,99	20	4,03	$Y_\alpha < Y_\beta$
2	31	130	3,61	16	3,63	$Y_\alpha < Y_\beta$
3	**41**	**120**	**3,27**	**12,5**	**3,27**	$\mathbf{Y_\alpha = Y_\beta}$

Нами проведены графоаналитические исследования по определению угла обхвата ремнем ведущего шкива по описанной выше методике при различных межосевых расстояниях и одних и тех же диаметрах шкивов передачи, так как этим углом определяется несущая способность передачи. При этом в каждом случае рычаг натяжного ролика принимался предельно наибольшей величины.

Результатами исследований установлено, что с увеличением межосевого расстояния и рычага натяжного ролика угол обхвата ремнем ведущего шкива постоянно увеличивается. Так, например, для рассмотренной выше передачи с передаточным отношением $u = 2$ с увеличением межосевого расстояния a от 415 мм до 830 мм угол обхвата ведущего шкива α изменяется от 120° до 156° (рис. 3), а также происходит некоторое увеличение угла обхвата ремнем ведомого шкива.

Из этого следует, что описанная конструкция самонатяжной клиноременной передачи наиболее рациональна в приводах со средними и повышенными межосевыми расстояниями.

В работе [1] показано, что номинальная передаваемая нагрузка ремнем не зависит от способа создания натяжения. Ее величина, приведенная в нормативных материалах [10], определялась экспериментальным путем с учетом механических свойств материалов ремня, его долговечности, величинами удлинения в процессе эксплуатации и другими факторами. Это обстоятельство дает основание вести расчет самонатяжной передачи с использованием нормативных материалов по расчету обычной ременной передачи с учетом некоторых особенностей работы.

Исходные данные для расчета самонатяжной клиноременной передачи те же, что и для обычной, то есть передаваемая мощность P, передаточное отношение u, частота вращения ведущего шкива n, задаваемое межосевое расстояние a.

Последовательность расчета.

1. Используя нормативные рекомендации [10] по передаваемой мощности и частоте вращения выбирается сечение ремня.

2. По формуле профессора М. А. Соверина ориентировочно определяется расчетный диаметр ведущего шкива D_1:

$$D_1 = (52 - 64)\sqrt[3]{T} \text{ мм}, \qquad (8)$$

где T – крутящий момент на ведущем шкиве, Н·м.

Затем определяется диаметр ведомого шкива D_2 с учетом величины скольжения ремня ε:

$$D_2 = D_1 u(1 - \varepsilon). \qquad (9)$$

Полученные величины диаметров шкивов D_1 и D_2 округляются до стандартных значений.

3. Межосевое расстояние a либо задается конструктивно, либо считается равным в 5–6 раз большим, чем D_1.

4. Угол наклона ведущей ветви передачи γ к межцентровой линии:

$$\gamma = 57{,}2° \, (D_2 - D_1) / a. \qquad (10)$$

5. По вышеизложенной методике определяется рациональный угол обхвата ведущего шкива α и углы θ и β наклонов ведомой ветви передачи (см. рис. 1).

6. Общая длина ремня определяется графическим прочерчиванием передачи с последующим суммированием прямолинейных и криволинейных участков на дугах обхвата шкивов. Клиновой ремень стандартной длины принимается ближайшего меньшего размера по сравнению с расчетным.

7. Необходимое число ремней Z в приводе определяется по зависимости [8]:

$$Z = \frac{P_{\text{ном}} C_p}{P_0 C_\alpha C_L C_Z}, \qquad (11)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность, передаваемая приводом;

C_p – коэффициент динамической нагрузки и режима работы; $C_p = 1$ для самонатяжной передачи;

P_0 – мощность, передаваемая одним ремнем для принятого ранее сечения при α = 180°; параметр принимается по материалам [10];

C_α – коэффициент, учитывающий угол обхвата; его величина определяется по таблицам нормативных материалов [10];

C_L – коэффициент, учитывающий длину ремня; его величина находится по таблицам [10]; для передач, работающих ограниченное время (менее 500 часов), $C_L = 1$;

C_Z – коэффициент, учитывающий число ремней в передаче; его величина принимается по таблицам [10]; для передач, работающих ограниченное время (менее 500 часов), $C_Z = 1$.

Выводы.

1. Разработанная методика определения основных параметров самонатяжной реверсивной клиноременной передачи позволяет произ-

водить ее силовой и кинематический расчет с использованием современных нормативных параметров для ременных передач.

2. Разработанная последовательность расчета для вертикальной самонатяжной передачи приемлема и для расчета с любым наклоном передачи к горизонту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ниберг Н. Я. Самонатяжные ременные передачи / Н. Я. Ниберг // Вестник машиностроения. – 1977. – № 7. – С. 38–42.
2. Хабрат Н. И. Повышение эксплуатационной надежности приводных ремнй ходовой части самоходных комбайнов / Н. И. Хабрат // Научные труды УСХА. Усовершенствование высокопроизводительных пропашных и уборочных агрегатов. Вып. 104. – К. : УСХА, 1973. – С. 90–95.
3. Флик Э. П. Механические приводы сельскохозяйственных машин / Э. П. Флик. – М. : Машиностроение, 1984. – 272 с.
4. Олефиренко Г. Увеличение долговечности клиновых ременных комбайнов / Г. Олефиренко, П. Ходжаев, Е. Рыбалкин // Техника в сельском хозяйстве. – 1968. – № 7. – С. 22–26.
5. Heroviz B. Messung der Vorspannung bei Riementvieben Maschinenmarkt / B. Heroviz, N. Gheorghiu. – 1969. – № 11. – S. 29–31.
6. Хабрат Н. И. Обоснование величин эксцентриситета оси качания шкива самонатяжной ременной передачи / Н. И. Хабрат // Детали машин : республиканский научно-технический сборник. Вып. 30. – К. : Техника, 1980. – С. 30–33.
7. А. с. 815360 СССР МКл^3. F16 H 7/10 Самонатяжной ременной привод Н. И. Хабрата / Н. И. Хабрат (СССР). – № 2580642/25-28 ; заявл. 16.02.78 ; опубл. 30.03.83. Бюл. № 11. – 2 с.
8. Пат. 50208 Украина. МПК F16H 7/12 Самонатяжной ременный привод / Н. И. Хабрат, Э. М. Люманов, Э. Д. Умеров. – u 200913354 ; заявл. 22.12.09 ; опубл. 25.05.10. Бюл. № 10. – 2 с.
9. Хабрат Н. И. О величине коэффициента трения клинового ремня по шкиву и методика его экспериментального определения / Н. И. Хабрат // Сборник научных трудов УСХА. Совершенствование процессов и рабочих органов сельхозмашин, организация и технология ремонта сельхозмашин. – К. : Изд-во УСХА, 1982. – С. 26–29.
10. ГОСТ 1284.3-96. Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Передаваемая мощность. – М. : Издательство стандартов, 1997. – 59 с.

УДК 669.053.4

Подзноев Г. П., Зубков А. А., Шуленина З. М.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ КАРБОНАТНЫХ РУД МАРГАНЦА

У статті на прикладі Більше-Токмацького родовища карбонатних руд марганцю розглянуті можливості їх комплексної безвідходної переробки, що включає в себе рудоподготовітельную стадію з операціями сушки, парціального випалу, механоактіваціонного подрібнення та відновного випалу з отриманням трьох сортів концентрату металізованого марганцю. Найбільш багатий концентрат піддається афінажу з отриманням порошкового марганцю високої чистоти, середній – хлоридно-солянокіслотному вилуговування і електролізу продукційних розчинів з отриманням катодного марганцю. Найбільш бідний концентрат направляється на виробництво феромарганцю, а відвальні хвости утилізуються у виробництві будівельних матеріалів.

Ключові слова: *карбонатні руди марганцю, безвідходна технологія, парціальний випал, механохімічно подрібнення, відновний випал, афінаж, хлоридно-солянокіслотное вилуговування, катодний марганець, утилізація хвостів збагачення.*

В статье на примере Больше-Токмакского месторождения карбонатных руд марганца рассмотрены возможности их комплексной безотходной переработки, включающей в себя рудоподготовительную стадию с операциями сушки, парциального обжига, механоактивационного измельчения и восстановительного обжига с получением трех сортов концентрата металлизированного марганца. Наиболее богатый концентрат подвергается аффинажу с получением порошкового марганца высокой чистоты, средний – хлоридно-солянокислотному выщелачиванию и электролизу продукционных растворов с получением катодного марганца. Наиболее бедный концентрат направляется на производство ферромарганца, а отвальные хвосты утилизируются в производстве строительных материалов.

Ключевые слова: *карбонатные руды марганца, безотходная технология, парциальный обжиг, механохимическое измельчение, восстановительный обжиг, аффинаж, хлоридно-солянокислотное выщелачивание, катодный марганец, утилизация хвостов обогащения.*

In this paper for a Large-Tokmak field of manganese carbonate ores examined the possibilities of an integrated waste-free processing, which includes operations preparation of ore with stage of drying, the partial roasting, grinding and recovery mechanical activation go firing to produce three kinds concentrate of metallic manganese. The richest concentrate undergoes refining to produce high-purity powder of manga-

nese, the average – chloride hydrochloric acid leaching and electrolyzing to produce solutions of Production of manganese cathode. Poor concentrate sent to the production of ferromanganese, and the final tailings are utilized in the production of building materials.

Key words: *carbonate manganese ores, waste technology, the partial roasting, grinding mechanochemical, reducing roasting, refining, chloride-hydrochloric acid leaching, manganese cathode, disposal of tailings.*

Постановка проблемы. Объем мировых запасов марганцевых руд, по оценкам USGS, на начало 2010 г. составил 565,5 млн. тонн. На долю Украины приходится 25% запасов, ЮАР – 23%, Австралии –15%, Индии – 10%, России – 5%. Мировые запасы марганцевых руд представлены в основном (около 90%) осадочными месторождениями, из которых оксидных – 38% и оксидно-карбонатных – 52%. Практически весь объем добываемого в настоящее время и перерабатываемого промышленностью марганцевого сырья приходится на оксидные руды, которыми обладают лишь ЮАР, Габон, Австралия и Бразилия.

Анализ литературы. Истощение запасов богатых легкообогатимых оксидных руд и возрастающие объемы производства марганцевых концентратов актуализировали проблему вовлечения в переработку карбонатных руд, ресурсы которых сосредоточены Украине в крупнейшем в мире Больше-Токмакском месторождении. Здесь доминируют труднообогатимые карбонатные марганцевые руды (родохрозит, манганокальцит) со средним содержанием Mn – 21%, CaO – 3–13% и SiO_2 – 10–50%.

Обогатительные схемы, включая мокрое обогащение, используемые для оксидных руд, оказались малоэффективны для данного вида сырья. Крупномасштабная попытка обогащения Больше-Токмакских карбонатных руд с совершенствованием физических методов для производства ферромарганца была осуществлена на Украине на Таврическом опытно-промышленном ГОКе производительностью 2 млн. тонн руды в год. Однако в 1995 г. из-за несовершенства технологии и ее низкой производительности добыча и переработка руды здесь была прекращена, а предприятие законсервировано.

Аналогичный эксперимент был проведен и в России на опытной обогатительной фабрике месторождения Полуночное (Северный Урал) [1], спроектированной Уралмеханобром в 1995 г. с применением сухой технологии обогащения и получением концентрата с 30% Mn, при его извлечении в концентрат – 79% (хвосты до 10% Mn). Предложенные технологии характеризуются обилием перечистных операций, что существенно усложняет контроль и управление процессом и снижает извлечение металла.

В последнее время появился ряд предложений по гидрометаллургической переработке оксидных, смешанных и карбонатных марганцевых руд с получением электролитического металла или оксидного маарганцевого концентрата – конечных товарных продуктов [2; 3]. Для перевода металла в раствор использовались серная кислота или хлорид аммония при различных вариантах технологических режимов. Предложенные методы дают возможность получения путем осаждения или электролиза концентрата диоксидного марганца с попутным образованием до 240–250 кг/т руды гипсового продукта, весьма трудного для утилизации. Кроме этого, значительные сложности возникают при выделении больших количеств углекислого газа при кислотном разложении карбонатов (250–270 кг CO_2 с каждой тонны руды). Выделяясь в газовую фазу, углекислота вызывает вспенивание пульпы, что существенно затрудняет процесс выщелачивания в пачуках или автоклавах и последующей декантации твердой фазы.

Цель исследования – обосновать потенциальную техническую возможность и технологическую эффективность комплексной переработки марганцевых руд.

Изложение основного материала. Наиболее перспективным направлением технологии переработки карбонатных руд марганца может быть получение нескольких целевых продуктов, обеспечивающих их реализацию в наиболее современных и перспективных сегментах потребительского рынка марганца с возможностями гибкого реагирования на его конъюнктурную ситуацию. Ниже предлагается обобщенная технологическая схема переработки карбонатных марганцевых руд на примере Больше-Токмакского месторождения.

Состав марганцевых руд Больше-Токмакского месторождения (табл. 1) известен из производственного отчета геологоразведочных работ.

Таблица 1.
Усредненный химический состав карбонатной руды Больше-Токмакского месторождения марганца.

Компонент	Содержание	Компонент	Содержание
SiO_2	18,40	MgO	2,11
TiO_2	0,183	Na_2O	0,19
Al_2O_3	3,40	K_2O	0,62
Fe_2O_3	2,0	P_2O_5	0,384
FeO	1,48	S	0,202
MnO	29,74	Mn	23,18
MnO_2	–	P	0,163

CaO	10,71	П.п.п.	29,77 ∑ = 99,2

Главными рудными минералами здесь являются манганокальцит и кальциевый родохрозит, находящиеся в рудах в различных соотношениях и промежуточных модификациях в изоморфном ряду кальцит – родохрозит, с определенным преобладанием монокальцитовой составляющей. Нерудные компоненты представлены терригенными и аутигенными минералами, среди которых преобладают кварц, полевые шпаты, глинистые минералы (гидрослюды, монтмориллонит, реже каолинит), кальцит, глауконит, сульфиды и окислы железа, доломит, барит, нонтронит. Фосфор в рудах имеет хемогенно-осадочный генезис (курскит, франколит), частично адсорбируясь минералами марганца и железа.

В расчете материального баланса сухого рудного материала приняты следующие массовые соотношения карбонатной фазы: $MnCO_3$ – 48,0%, $CaCO_3$ – 18,0%, $FeCO_3$ – 2,0%, при условии, что часть кальция (1,5%) и двухвалентного железа (1,5%) входит в состав алюмосиликатной массы. Трехвалентное железо (Fe_2O_3) – в виде окислов. Алюмосиликатная составляющая – 6,0%, свободный SiO_2 (кварц) – 15%, полевые шпаты – 1,5%. Остальная часть элементных компонентов рассредоточена в породно-рудной массе.

В укрупненном виде схема полного технологического цикла переработки руды включает следующие основные стадии.

Рудоподготовка. Добытая руда с исходной влажностью около 20% дробится до размерности –5 мм с последующей сушкой в наиболее распространенных трубчатых или барабанных сушилках до 3% влаги с выходом грубо 1000 т сухой руды. Время сушки – 20 мин. [4] Температура на входе 750°С, на выходе – 150°С. Поскольку с газовой фазой будет удаляться преимущественно пылевая глинистая фракция, массовое содержании марганца в перерабатываемом продукте останется неизменным.

Парциальный обжиг руды. Присутствующие в руде карбонатные фазы марганца и кальция существенно отличаются по температуре термической диссоциации, что позволяет провести избирательную декарбонизацию только карбоната марганца при температуре 450–600°С.

Тем самым значительно сокращаются теплозатраты на обжиг и происходит кристаллохимическое разделение структуры манганокальцита и кальциевого родохрозита на оксид марганца и остаточную кальцитовую фазу, что упрощает последующие технологические операции селективного обособления оксида двухвалентного марганца. Температура обжига не должна превышать указанную температуру, поскольку при ее более высоком значении будет происходить нежелательное окисление части MnO до Mn_2O_3.

Обжиг осуществляется в традиционной печи кипящего слоя, обеспечивающего также определенный объем пылеуноса, позволяющего удалить существенную часть присутствующего в руде безрудного глинистого материала (5–8%), по сути, этот процесс аналогичен мокрой дешламации в традиционной схеме переработки оксидных руд.

В результате парциального обжига руды из 480 т карбоната марганца удаляется 183,6 т CO_2 по идеализированной схеме:

$$MnCO_3 \rightarrow MnO + CO_2. \qquad (1)$$

В результате вышеприведенных операций на дальнейший передел пойдет уже условно окисленная руда (767–770 т) при содержании марганца уже 29–30%, то есть близко к нижнему пределу концентратов для получения ферромарганца (сорт 1).

Поскольку температура руды после сушки составляет около 100°С и она сразу поступает на обжиг, то нагрев руды нужен лишь на 450–500°С. Расход теплозатрат на обжиг в этом случае может быть принят 400 МДж/т, или на всю массу (1000 т) обжигаемой руды – 400000 МДж.

Остаточная теплота отходящих газов через теплообменник используется для теплоснабжения или сушки восстановителя.

Механохимическое измельчение. Так как в процессе парциального обжига получается оксид марганца с высокой поверхностной энергией образовавшихся молекулярных мицелл, то представляется целесообразным использовать этот фактор для активации восстановительных реакций в процессе последующего измельчения. Для этого высоконагретые газы после парциального обжига используются для подсушки восстановителя, в качестве которого наиболее эффективно применить достаточно дешевый и доступный бурый уголь, как потенциально более активный материал для термодеструкции углеводородов и последующих операций восстановления монооксида марганца.

Усредненный состав сухого бурого угля Днепровского региона включает в себя углерод (68%), водород (5,2%) кислород (26%) и азот (0,8%). Его высокомолекулярная структура состоит из ароматических, гидроароматических, гетероциклических и алифатических фрагментов, различных функциональных групп. Эти фрагменты связаны между собой посредством алифатических связей углерод – углерод, углерод – водород, углерод – кислород, углерод – азот, углерод – сера.

При термической деструкции углей в диапазоне низкотемпературного крекинга (ниже 500°С) протекают две основные группы химических превращений:

1) деполимеризации органической массы угля с образованием фрагментов и радикалов органических молекул меньшей молекулярной массы;
2) реакции вторичных превращений образующихся продуктов (конденсации, полимеризации, ароматизации, алкилирования и другие).

При смешивании подсушенного бурого угля с продуктами декарбонизирующего обжига температура шихты последовательно снижается от 450–500°С до 150–200°С. При этом происходит частичная гомогенизация компонентов смеси. Более высоконагретая минеральная масса руды обволакивается продуктами термической демодификации бурого угля с изменением молекулярной структуры, состава фрагментов, частичным разрушением электронно-донорно-акцепторных связей, что приводит к определенной поверхностной активации минеральных зерен. Оксиды металлов в этих условиях играют роль катализаторов деструктивных процессов. При этом также частично удаляется остаточная внешняя, гигроскопическая и коллоидно-связанная (конституционной) влага, выделяется углекислота, пирогенная вода разложения при взаимодействии водородных и кислородосодержащих функциональных групп.

Количество бурого угля определяется потребностью парциального восстановления части марганца из его монооксида (MnO) за счет реакционного взаимодействия с радикалами и фрагментами углеводородной части бурого угля, что можно проиллюстрировать следующими термодинамическими расчетами по значениям свободной энергии Гиббса (ΔG кДж/моль MnO) при заданных температурах °К:

$C + 2MnO = 2Mn + CO_2$ ΔG^{298} +165,2 (2)

$C + 2MnO = 2Mn + CO_2$ ΔG^{900} +53,0 (3)

$CH_4 + 4MnO = 4Mn + CO_2 + 2H_2O$ ΔG^{900} +97,3(4)

$H_2 + MnO = Mn + H_2O$ ΔG^{900} –30,4 (5)

$2H + MnO = Mn + H_2O$ ΔG^{298} –280,8 (6)

$=CH_2 + 3MnO = 3Mn + CO_2 + H_2O$ ΔG^{298} –49,5 (7)

Жирным шрифтом выделены термодинамически наиболее продуктивные реакции (6), (7) при механохимических взаимодействиях в зоне ударных деформаций мелющих тел в процессе измельчения рудного материала. Как следует из приведенных термодинамических расчетов, восстановление марганца до металлического состояния в диапазоне до 600°С (900 К) проблематично для свободного углерода и молекулярного метана, и лишь для молекулярного водорода подобная температура (600°С) может служить нижней границей продуктивного процесса. Последний резко активизируется, если в реакционной среде образуются радикальные фрагменты углеводородных соединений при их термической диссоциации (in situ) ((6), (7)).

У образующихся при этом «возбужденных» радикалов $–CH_3$ или $=CH_2$ атом углерода, оставаясь четырехвалентным, имеет одну или несколько нескомпенсированных активных связей, способствующих активной хемосорбции радикала на активированной поверхности MnO и последующему химическому взаимодействию с последним даже при стандартных условиях. Образование подобных фрагментов происходит при разрыве относительно слабой связи С–С углеводородных структур при термической нагрузке и частичному высвобождению атомов водорода.

Необходимое количество буроугольной массы определяется балансовой потребностью восстановительного процесса в геореакторе исходя из общей схемы последнего. Из расчета следует, что для теоретически полной металлизации 223 т Mn стехиометрически потребуется 35,6 т бурого угля. Учитывая взаимодействие углерода и водорода с кислородом (260 кг/т) бурых углей, на его связывание уйдет 65 кг в сумме $C+H_2$, вследствие чего необходимая доля бурого угля возрастет до 38,8 т/сутки или 45 т для рабочего процесса.

Восстановительный обжиг. Частично механоактивированный измельченный до –0,074 мм рудный материал без материальных и тепловых потерь тангенциально поступает в восстановительную камеру шахтного термохимического реактора [5], где в жестком вихревом режиме происходит высокотемпературный крекинг углеводородов бурых углей и парциальное восстановление марганца. Поскольку предварительно в процессе измельчения руды поверхность минеральных частиц практически полностью покрыта вдавленными микрослоями и пленками углеводородных фрагментов бурого угля, то в высокотемпературном тепловом поле (700–800°С) восстановление марганца будет происходить активно с минимальным диффузионным торможением, поскольку восстановительные реагенты полностью покрывают поверхность минеральных частиц. Активировать процесс можно путем использования каталитически активной внутренней футеровки восстановительной камеры (например, из никельсодержащих сплавов) с наложением катодной поляризации, способствующей дополнительному поддержанию высокого восстановительного по-

тенцииала при соприкосновении оксида марганца с подобной поверхностью.

При условном содержании в 1 т сухого бурого угля основных восстановительных агентов – углерода (680 кг) и водорода (52 кг) – стехиометрически можно восстановить:

$C(680) + 2MnO(8040) = 2Mn(6230) + CO_2(2490)$

$H_2(52) + MnO(1846) = Mn(1430) + H_2O(468)$ (8)

В результате происходит металлизация марганца, удельная плотность которого в этом случае повышается до 7,0–7,4 кг/дм^3 на фоне значительно более низкой (2,8–3,5 кг/дм^3) плотности породной части рудного материала. Подобная контрастность значительно повышает эффективность последующего использования простого гравитационного обогащения в циклонных потоках даже в тонкодисперсных аэрозольных системах.

С учетом этого фактора пылегазовый вихревой поток из восстановительной камеры реактора без материальных и тепловых потерь перенаправляется тангенциально в нижележащую камеру циклонного разделения термохимиического реактора, в которой происходит пристеночная сепарация металлизированного марганца от менее плотной газовой и породной составляющей потока.

Процесс разделения можно сделать более эффективным, если использовать металическую внутреннюю футеровку камеры с наложением прерывистого электромагнитного поля, удерживающего металлизированный марганец вблизи стенки. Под действием гравитационных сил скопившийся у стенки марганцевый продукт будет сползать в нижнюю накопительную камеру, откуда отработанным газом по принципу аэрлифта подается в систему дополнительных циклонных камер для получения максимально сконцентрированного металлизированного марганца.

Пылегазовый материал, обедненный марганцем, перечищается в отдельной группе циклонных аппаратов с получением:

- обогащенного концентрата (60–65% Mn) для последующего хлоридно-солянокислотного выщелачивания и получением электролитического металлического марганца или его оксида;
- стандартного концентрата металлизированного марганца (40–45% Mn) для традиционного металлургического производства ферромарганца и марганцевых сплавов;
- отвальный продукт (менее 10% Mn) для использования в производстве строительных материалов.

Аффинаж концентрата порошкового металлизированного марганца проводится из части основного продукта циклонной сепарации, в котором содержание марганца превышает 95%. Селективное выделение марганца осуществляется в вихревом циклонном потоке взаимодействием с хлористым водородом при температуре более 600°С по схеме:

$Mn + 2HCl = MnCl_2 + H_2$ (9)

$\Delta G^{800} = -64{,}0$ кДж/моль Mn (10)

$MnO + 2HCl = MnCl_2 + H_2O$ (11)

$\Delta G^{800} = -29{,}3$ кДж/моль MnO (12)

$MnO + H_2 = Mn + H_2O$ (13)

$\Delta G^{900} = -30{,}5$ кДж/моль MnO (14)

Твердая фаза промывается горячей водой с растворением хлорида марганца (растворимость при 80°С – 1127 г/дм^3), после чего раствор отделяется от остаточного кека, очищается от растворенных примесей методом селективной сорбции, упаривается и обезвоживается с получением хлористого марганца $MnCl_2$. Последний восстанавливается водородом в вихревом потоке в термохимическом реакторе под давлением при температуре выше 600°С в виде стабилизированного микро- и нанопорошка чистого металла с возвратом хлористого водорода в голову процесса по схеме:

$MnCl_2 + H_2 = 2HCl + Mn$ (15)

$\Delta G^{900} = -92{,}3$ кДж/моль Mn. (16)

Хлоридно-солянокислотное выщелачивание обогащенного концентрата металлизированного марганца.

После отделения богатого (аффинажного) концентрата марганецсодержащий материал подвергается перечистным операциям обогащения с получением трех продуктов:

- обогащенный концентрат металлизированного марганца (60–65% Mn);
- стандартный концентрат метализированного марганца (40–45% Mn);
- отвальный продукт (менее 10%).

Из существующих методов выщелачивания марганца наиболее распространен сернокислотный, который используется при переработке оксидных руд. Для карбонатных руд он мало пригоден, поскольку значительное количество кислоты безвозвратно теряется с трудноутилизируемым $CaSO{\cdot}2H_2O$ в смеси со шламовой алюмосиликатной фазой при повышенной нагрузке на фильтрационное оборудование с учетом контрольной отмывки первого кека и переброску шламовой пульпы в шламонакопитель. При этом значительные трудности вызывает выделяющийся CO_2, сильно вспенивающий реакционную пульпу. Также необходимо дополнительно использовать сульфат аммония в качестве буферной добавки для улучшения кинетики и стабильности электролиза, что в свою очередь создает сложности вывода избытка этого реагента

из оборотных растворов. Кроме этого, образуются нецелевые побочные продукты на аноде и катоде, снижающие катодный выход марганца по току.

К достоинствам метода следует отнести вывод кальция из продуктивных растворов до электролиза и получение побочного товарного продукта – анодного диоксида марганца.

Аммонийно-хлоридная схема отличается достаточно высокой селективностью к марганцу, но требует значительного (в 2–2,5 раза) его избытка на стадии совместного обжига руды и хлористого аммония. При этом вместе с аммиаком в газовую фазу уходит значительное количество весьма токсичного хлористого водорода, резко ухудшающего промсанитарное состояние производства и требующего сложного коррозионностойкого и герметичного оборудования и материалопроводов для прокалки, разделения, регенерации и утилизации. Также достаточно сложны система регенерации хлористого аммония и компонентный состав продукционных растворов.

К достоинствам относится селективность базового реагента к марганцу, его доступность, пригодность к регенерации и оборотной циркуляции при более низком количестве промежуточных продуктов.

Наиболее эффективной является хлоридно-солянокислотная схема (рис. 1), которая в значительной мере лишена проблемы с обеспечением процесса легко доступной и регенерируемой технологической реагентикой.

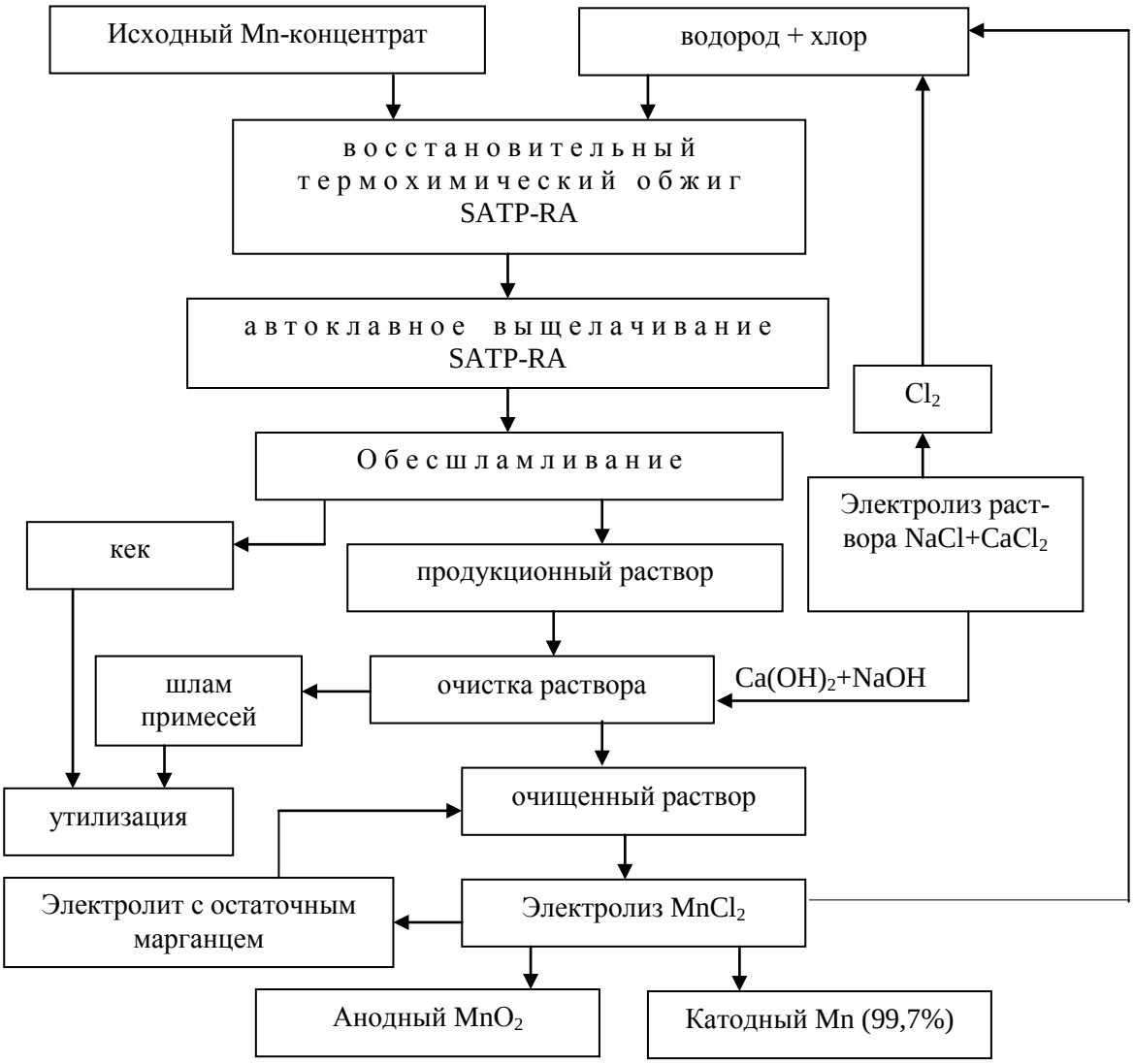

Рис. 1. Концептуальная технологическая схема хлоридно-солянокислотной переработки концентрата металлизированного марганца.

При этом состав газовой фазы на начальной стадии термохимической обработки исходного материала более прост, что существенно снижает затраты на ее очистку и утилизацию. Упрощается схема непосредственного получения в обжиговой камере термохимического реактора газообразного хлороводорода за счет сгорания водорода в хлоре – побочных продуктов катодного и анодного процессов электролиза с дополнительным получением тепловой энергии. Воз-

можно получение более концентрированных продукционных растворов, что снижает затраты на их транспортировку, перекачивающее и электролизное оборудование, улучшает кинетику электролиза. Кроме этого, схема позволяет выводить избыток кальция после электролиза в виде товарного $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ отдельно от алюмосиликатного шлама – как инертных материалов, легко утилизируемых для строительных целей.

В целом хлоридно-солянокислотная схема позволяет достичь более высокого сквозного извлечения марганца при минимальных неутилизируемых отходах.

В голове процесса выщелачивания концентрат металлизированного марганца подвергается хлорирующему обжигу при температуре 500–600°С в термохимическом реакторе, куда подаются катодный водород, попутно получаемый при электролизе продукционных растворов хлорида марганца. Сюда же подается электролитический хлор, получаемый из оборотных хлоридных растворов. Образующийся при сгорании водорода в хлоре хлористый водород взаимодействует с марганцем, образуя хлористый марганец. Прореагировавшая реакционная масса без материальных и тепловых потерь переходит в автоклавную секцию термохимического реактора, куда подаются оборотные растворы после электролитического осаждения марганца. После растворения хлористого марганца проводится щелочная дешламация и очистка от примесей оксидов металлов с помощью гидроксида натрия и кальция, получаемых при производстве электролитического хлора.

Осветленный продукционный раствор подвергается электролизу с получением катодного металлического марганца.

Остаточный электролитный раствор очищается от избытка кальция в виде карбоната или сульфата и направляется на выщелачивание хлористого марганца из продуктов хлорирующего обжига.

Отвальный продукт, представляющий собой тонкодисперсный карбонатно-силикатный материал, может быть использован в производстве строительных материалов.

Выводы. Предлагаемая технологическая схема переработки карбонатных марганцевых руд Больше-Токмакского типа позволяет:

1) провести обогатительный цикл без использования сложных и громоздких комбинированных систем электромагнитной и рентгенорадиометрической сепарации рудного материала с многочисленными материальными струйчатыми потоками и перечистными операциями при максимальной конечной концентрации металла не выше 40–42%;
2) получить высокометаллизированный металл в едином непрерывном потоке с использованием парциального обжига, механоактивационного измельчения и восстановительного обжига в среде углеводородного восстановителя с завершающей циклонно-гравитационной сепарацией с выделением четырех целевых промпродуктов:

- с высокой (выше 95%) концентрацией металлизированного марганца для последующего аффинажа с получением особо чистого порошкового марганца;
- обогащенного концентрата (60–65% Mn) для последующего хлоридно-солянокислотного выщелачивания с получением электролитического металлического марганца или его оксида;
- стандартного концентрата частично металлизированного марганца (40–45% Mn) для традиционного металлургического производства ферромарганца и марганцевых сплавов;
- отвального продукта (менее 10% Mn) для использования в производстве строительных материалов.

Таким образом, процесс переработки карбонатных марганцевых руд может быть максимально безотходным с гибкой системой производства марганцевых продуктов различного функционального предназначения в зависимости от конъюнктурной ситуации на потребительском рынке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые подходы к совершенствованию технологии обогащения карбонатных марганцевых руд [Электронный ресурс] / [Э. Г. Литвинцев, Е. С. Броницкая, Л. П. Тигунов, А. В. Первушин, Р. С. Улубабов]. – Режим доступа : http://www.minproc.ru/thes/2003/section6/thes2003sVI-5042.doc.
2. Патент 2172358 Российская федерация, МПК С 22 В 47/00. Способ переработки марганецсодержащих материалов / А. И. Павлов, И. А. Сорокин, С. В. Шишов, И. В. Шишова ; заявители и патентообладатель ЗАО НПП «Техномет». – № 2001100539/02 ; заявл. 10.01.01 ; опубл. 20.11.01, Бюл. № 7.
3. Патент 2175022 Российская федерация, МПК С 22 В 47/00. Способ переработки бедных марганецсодержащих руд / Л. Б. Чистов, В. П. Хвостов, Е. И. Малов, В. Е. Охрименко, А. Т. Свенцицкий; заявители и патентообладатели Л. Б. Чистов, В. П. Хвостов, Е. И. Малов, В. Е. Охрименко, А. Т. Свенцицкий. – № 2000120254/02 ; заявл. 01.08.00 ; опубл. 20.10.01.
4. Справочник по обогащению руд : в 3-х т. / гл. редактор О. С. Богданов. – М. : Изд-во «Недра», 1974. – Т. 2. Основные и вспомогательные процессы. – 451 с.
5. Патент 62465 А Україна С 22 В 1/00 Спосіб термохімічної переробки рудно-мінеральної сирови-

ни і відходів та установка для його здійснення / Г. П. Подзноєв, А. В. Бєлотьолов, І. Г. Подзноєв ; заявник та патентовласник Г. П. Подзноєв. – № 2003032659 ; заявл. 27.03.2003 ; опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12.

УДК 621.923

Ягьяев Э. Э., Шрон Л. Б., Джемилов Э. Ш.

ОБНАРУЖЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

У статті запропоновано методику виявлення відхилень параметрів технологічної системи процесу шліфування, на основі аналізу зміни вихідних змінних і параметрів стану технологічної системи. Застосування даної методики виявлення відхилень забезпечить високу ефективність процесу шліфування, а також можливість її широкого застосування в автоматизованому виробництві.

Ключові слова: *діагностика, шліфування, матриця, прогнозування, алгоритм, якість.*

В статье предложена методика обнаружения отклонений параметров технологической системы процесса шлифования, на основе анализа изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы. Применение данной методики обнаружения отклонений обеспечит высокую эффективность процесса шлифования, а также возможность ее широкого применения в автоматизированном производстве.

Ключевые слова: *диагностика, шлифование, матрица, прогнозирование, алгоритм, качество.*

The paper proposed a method for detecting deviations of parameters of technological system of the grinding process, based on analysis of changes in output variables and state parameters of the technological system. Application of this method of detection of deviations ensure high efficiency grinding process, as well as the possibility of its widespread use in automated production.

Key words: *diagnostics, grinding, forecasting, matrix, prognostication, quality.*

Постановка проблемы. Увеличение количества применяемого автоматизированного оборудования на технологических операциях круглого наружного шлифования требует высокоэффективной диагностики и управления процессами обработки с учетом изменений состояния технологической системы.

Анализ литературы. Мониторинг существующих производств (ОАО «Завод «Фиолент», г. Симферополь, предприятие «АвтоЗАЗ-Мотор», г. Мелитополь и др.) показывает, что возможности автоматизированного оборудования при обработке материалов резанием, в особенности на операциях шлифования, используются только на 70…80% [1]. Это связано с тем, что в процессе работы состояние обрабатывающей системы существенно изменяется. Так, например, с уменьшением диаметра круга при его правке и износе уменьшается скорость резания, за период стойкости инструмента между правками на режущих кромках появляются площадки износа, при длительной эксплуатации оборудования снижаются его жесткость и виброустойчивость. Возникающие изменения параметров системы приводят к соответствующим изменениям параметров качества деталей. Для обеспечения заданного качества, стабильности выходных переменных операция настраивается на наихудшее состояние системы и среды. Большую же часть времени возможности станка, инструмента, смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС) используются не полностью.

Цель статьи – разработка методики надежного обнаружения отклонений выходных переменных и определения параметра состояния и вида возмущений технологической системы на основе анализа скоростных параметров изменения выходных переменных операций шлифования.

Изложение основного материала. Применение современного станочного оборудования открывает новые технологические возможности для повышения качества на финишных операциях. Металлорежущие станки и комплексы оснащаются высокоэффективными приводами, информационными, измерительными, управляющими системами и другими функциональными устройствами с улучшенными техническими характеристиками. Современные системы автоматического управления станками позволяют проводить коррекцию, но для ее осуществления необходимы информация о текущем состоянии параметров системы, а также модели, устанавливающие связь параметров состояния с параметрами управления и выходными переменными.

Применяемые при шлифовании методы диагностики основаны либо на оценке параметров состояния с использованием сложной диагностической аппаратуры в период остановки оборудования, либо на основе анализа результатов измерений параметров качества обработанных поверхностей и ряда параметров процесса (сил резания, акустической эмиссии и т. д.). Второй

вариант, так же как и первый, является малоприемлемым для условий автоматизированного производства, поскольку не позволяет однозначно выявить изменившийся параметр технологической системы и тем более дать прогноз поведения системы при дальнейшей эксплуатации.

Таким образом, при решении существующей проблемы повышения эффективности операций шлифования при обработке деталей на автоматизированном оборудовании весьма актуальной является задача разработки широкополосной системы диагностики, работающей в режиме реального времени и позволяющей оценивать непосредственно параметры процесса и их производные. При этом становится возможным вести обработку заготовок на оптимальных режимах в любой момент времени эксплуатации оборудования и стабилизировать качество выпускаемой продукции.

Определение вектора параметра состояния технологической системы ΔZ по зависимостям, предложеным в работах [1–3], требует наличия детальной информации об изменении выходных переменных ΔY.

$$Z_{i,j}(\tau = Z_{ij-1} + A_{ij}(j-1) + A_{zij}(\tau - \sum_{k=1}^{j-1} \tau_{цk})), \qquad (1)$$

$$Y_i(t) = D_i(t) Z_i(t), \qquad (2)$$

$$\dot{Y}_i(t) = D_i \dot{Z}(t), \qquad (3)$$

где A_{ij} – оператор, учитывающий восстановление i-го параметра системы после выполнения (j – 1)-го цикла (перед началом j-го цикла);
A_{zij} – оператор, определяющий изменение параметра системы при работе в j-ом цикле;
$\tau_{цk}$ – время выполнения k-го цикла.

Кроме того, система должна быть дополнена процедурой сравнения, определения принадлежности скорости изменения выходных переменных к интервалу скоростей $\dot{Y}_1(t)$, $\dot{Y}_2(t)$, … $\dot{Y}_m(t)$ того или иного периода прерывания:

$$\dot{Y}(t) \in \begin{bmatrix} \dot{Y}_1(t) \\ \dot{Y}_2(t) \\ \dots \\ \dot{Y}_m(t) \end{bmatrix}. \qquad (4)$$

Задача решается по зависимости (4) на основе использования матриц соответствия. Для процесса круглого наружного шлифования с прибором активного контроля взаимосвязь векторов ΔZ и ΔY приведена в табл. 1.

Таблица 1.

Таблица принятия решений (матрица соответствия) операции круглого наружного врезного шлифования.

Элементы вектора ΔY			Элементы вектора ΔZ											
			Станок		Приспособление для правки		Инструмент				СОЖ	Заготовка		
			Точность	Жесткость	Точность	Состояние инструмента	Твердость	Дисбаланс	Отклонение формы	Состояние режущих кромок	Загрязнение	Припуск	Эксцентриситет	Твердость
Точность	Размер	d	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
		d'	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		σ_d	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1
	Эксцентриситет	ε	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
		ε'	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
		σ_ε	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Волнистость	W	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
		W'	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
	Отклонения формы	σ_W	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
		δ	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1
		δ'	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
		σ_σ	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Шероховатость	Среднее арифметическое отклонения	R_a	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
		R_a'	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0
		σ_{Ra}	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1
	Наличие рисок		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Силы резания		P_y	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1
		P_y'	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0

	σ_{Py}	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0
Износ инструмента	ΔR	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
	$\Delta R'$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Матрица составлена на основе материалов анализа влияния возмущений и изменений на выходные переменные. По горизонтали располагаются составляющие вектора ΔZ, по вертикали – вектора ΔY. В вектор ΔY включены, кроме параметров качества изделия, скорости их изменения и дисперсии; матрица составлена при интервале наблюдения за процессом не менее времени обработки партии деталей.

При использовании матрицы соответствия задача решается в два этапа. На первом этапе по матрице в вертикальной колонке выбираем изменившиеся выходные переменные ΔY, по горизонтали в виде двоичных кодов (1 – да, 0 – нет) определяются изменения параметров состояния станка, составляющие вектора ΔZ; на втором этапе по уравнениям вида (1)...(4) вычисляются их значения. По скорости изменения выходной переменной принимается решение по времени и виду коррекции.

С целью пояснения работы алгоритма системы диагностики рассмотрим элементарные примеры обнаружения отклонений параметров технологической системы.

Пример 1. При обработке партии заготовок наблюдается постепенное увеличение эксцентриситета обработанной поверхности, в среднем на 2 мкм при обработке каждой новой заготовки, и одновременно отмечено снижение износа инструмента на 10%. По матрице соответствия находим, что более интенсивное, по сравнению с расчетом, увеличение эксцентриситета при одновременном снижении износа может наблюдаться за счет увеличения твердости инструмента. Это объясняется увеличением площадок износа на режущих кромках и повышением сил резания. Величину отклонений твердости можно рассчитать, воспользовавшись предложенной моделью. Аппроксимацией теоретических и экспериментальных зависимостей для кругов из электрокорунда белого 25 зернистости получено

$$Q_a = 0{,}31\cdot 10^{-9}\, h_0^{1,5}, \qquad (5)$$

где Q_a – объемный износ круга в единицу времени; h_0 – глубина лунки при определении твердости круга на пескоструйном приборе.

Используя соотношение (5), находим

$$\Delta h_0 = \frac{2\Delta Q_a}{3\left(0{,}31\cdot 10^{-9}\right)^{2/3}\sqrt[3]{Q_a}} = 0{,}32\,. \qquad (6)$$

Другой возможной причиной в рассматриваемом примере является неточность математической модели. Эту гипотезу можно отвергнуть, если отклонение эксцентриситета от расчетных не наблюдалось при обработке заготовок другими инструментами с теми же характеристиками.

Пример 2. При обработке партии заготовок получены более высокие значения эксцентриситета по сравнению с расчетными. Тенденции изменения отклонений с увеличением порядкового номера заготовки не зафиксировано. По матрице соответствия находим, что причиной наблюдаемых отклонений является повышенный эксцентриситет заготовки. Оценка отклонений исходного эксцентриситета может быть выполнена по зависимости

$$\varepsilon_i = r_{\max i} - r_{\min i} \approx \varepsilon_{i-1} - (\Delta r_{\max i} - \Delta r_{\min i}), \qquad (7)$$

где $\Delta r_{\max\, i}$ и $\Delta r_{\min\, i}$ – радиус-векторы заготовки со стороны большего и меньшего значений припусков.

Принятие решения о коррекции не всегда является однозначным при использовании соотношения

$$\left|\Delta Y\right| = \left|Y(t) - \hat{Y}(t)\right| \geq \left|\Delta Y_{\text{пор}}\right|, \qquad (8)$$

где $Y(t)$ – наблюдаемые значения выходных переменных;

$\hat{Y}(t)$ – прогнозируемые значения выходных переменных;

$\Delta Y_{\text{пор}}$ – пороговый уровень обнаружения отклонений, вызванный ошибками измерений.

Так, для первого примера снижение отклонений эксцентриситета может быть достигнуто как за счет замены инструмента, так и за счет изменения параметров цикла шлифования (увеличения продолжительности чистового этапа и этапа выхаживания). Для второго примера снижение ε может быть обеспечено только за счет коррекции параметров цикла. Принимаемый вид коррекции определяется блоком коррекций алгоритма диагностики.

Выводы. Анализ скоростных параметров позволяет выявить изменившийся параметр технологической системы и принять решение о необходимости проведения коррекции или замены (ремонта) элемента системы.

В условиях автоматизированного производства учет только одного из параметров состояния системы – рабочей поверхности абразивного инструмента – позволяет повысить производительность обработки на 20–25% и уменьшить дисперсию выходных параметров на 15–25%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новоселов Ю. К. Диагностика операций чистового шлифования по динамике изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы / Ю. К. Новоселов, Э. Э. Ягьяев, Н. Р. Кириенко // Вестник СевНТУ : сб. науч. тр. – Севастополь, 2010. – Вып. 107. – С. 170–173.

2. Ту Ю. Современная теория управления / Ю. Ту. – М. : Машиностроение, 1971. – 472 с.
3. Ягьяев Э. Э. Структура системы диагностики для круглого наружного шлифования / Э. Э. Ягьяев, Т. В. Калюжная // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Выпуск 27. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2011. – С. 21–24.

УДК 621.923

Ягьяев Э. Э., Шрон Б. Л.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ С ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ

У статті наводиться методика експериментального визначення коефіцієнтів концентрації α_σ *і градієнтів різниці головних напруг* $G_{(\sigma_1-\sigma_2)}$. *Показана ефективність експериментального методу фотопружності для дослідження напруженого стану деталей складної форми при наявності концентрації напружень, а також для вирішення завдань тендітної міцності методами лінійної механіки руйнування.*

Ключові слова: *концентрація напружень, метод фотопружності, градієнт головних напруг, надійність, моделювання.*

В статье приводится методика экспериментального определения коэффициентов концентрации α_σ *и градиентов разности главных напряжений* $G_{(\sigma_1-\sigma_2)}$. *Показана эффективность экспериментального метода фотоупругости для исследования напряженного состояния деталей сложной формы при наличии концентрации напряжений, а также для решения задач хрупкой прочности методами линейной механики разрушения.*

Ключевые слова: *концентрация напряжений, метод фотоупругости, градиент главных напряжений, надежность, моделирование.*

The article provides a method for experimental determination of the concentration factor α_σ *and gradients difference of principal stresses* $G_{(\sigma_1-\sigma_2)}$. *The efficiency of the experimental method of photoelasticity to study the stress state of parts of complex shape in the presence of stress concentrations, as well as for solving problems of brittle strength of the methods of linear fracture mechanics.*

Key words: *stress concentration, the method of photoelasticity, the gradient of the principal stresses, reliability, simulation.*

Постановка проблемы. Повышение требований к надежности работы ручного электроинструмента требует разработки методики моделирования работы конкретных деталей с учетом их конструктивных особенностей, условий нагружения и напряженного состояния. При этом следует отметить, что зонами начала разрушений деталей машин являются зоны концентраций напряжений.

Анализ литературы. К настоящему времени накоплена обширная информация о геометрических концентраторах напряжения, полученная расчетными и экспериментальными методами [1–3]. Имеющиеся данные убедительно свидетельствуют о значительной концентрации напряжений в изделиях с конструктивными концентраторами и ее существенном влиянии на их работоспособность. В то же время приходиться констатировать, что в рассматриваемой проблеме многие вопросы остаются неясными. Данные различных авторов о степени влияния на коэффициент концентрации напряжений тех или иных геометрических параметров концентраторов не совпадают, а иногда и противоречат друг другу [4; 5].

Цель данной **статьи** состоит в том, чтобы на основе достоверной информации о напряженном состоянии с учетом концентрации напряжений провести совершенствование конструкции и методов расчета на прочность ответственных деталей электроинструмента.

Изложение основного материала. Коэффициенты концентрации напряжений определяются разнообразными методами, включая непосредственные измерения деформаций, применение методов фотоупругости, использование методов теории упругости и проведение расчетов методом конечных элементов.

Исследование напряжений методом фотоупругости было до недавнего времени самым широко распространенным способом изучения распределения напряжений и определения коэффициентов концентрации напряжений около различных геометрических концентраторов. Метод основан на использовании двойного лучепреломления многих прозрачных материалов при деформировании их под нагрузкой. Анализ интерференционных полос, образующихся при просвечивании деформированных моделей из оптически активных материалов поляризован-

ным светом, позволяет качественно и количественно охарактеризовать распределение напряжений в теле и рассчитать коэффициенты концентрации напряжений. В последние годы метод конечных элементов при определении коэффициентов концентрации напряжений в значительной степени потеснил метод фотоупругости. Это связано с развитием вычислительной техники и пакетов прикладных программ. Однако применение численных методов возможно только на математических моделях, а метода фотоупругости – только на реальных.

Концентрация напряжений в наибольшей степени влияет на несущую способность деталей машин и элементов конструкций при переменных нагрузках, в условиях коррозионного воздействия среды или при охрупченном состоянии материала. Несмотря на то, что концентраторы напряжений существенно влияют на прочностные параметры, методы расчетной оценки этого влияния пока еще недостаточно совершенны, а имеющиеся данные об экспериментальных значениях коэффициентов концентрации напряжений довольно противоречивы, а информация о градиентах напряжений практически отсутствует [1]. В этой связи очевидна актуальность исследования влияния геометрических параметров концентратора на величины α_σ и $\overline{G}_{\sigma_1}$ и создание надежных методик их определения.

Деталь – шток электролобзика – изготовляется из стали 20Х ГОСТ4543-73, заготовку получают штамповкой из листовой стали. Заготовка довольно проста по конфигурации, обработка плоских поверхностей не вызывает затруднений. Значительные трудности вызывает обработка паза, так как он расположен внутри детали и, следовательно, к нему нет свободного доступа и выхода инструмента. Обработка требует точного позиционирования инструмента, чтобы не допустить утоньшения одной из стенок. Для этого необходимо выдержать допуск параллельности стенок паза, что является нетехнологичным. Нетехнологичным также является получение четырех радиусов при шлифовании боковых поверхностей штока.

Исследования проводили методом фотоупругости. Для этого из оптически активного материала на основе эпоксидной смолы ЭД-6М, изготовили пластины толщиной t = 4 мм. При выполнении радиуса сопряжения во избежание остаточных напряжений от «прижога» в процессе сверления отверстия в моделях выполняли на вертикально-сверлильной установке с ручным приводом и пружинным механизмом подачи, что обеспечило малую скорость резания и плавность подачи. В зону резания постоянно подавалось масло. Для предотвращения сколов по образующей отверстия в момент входа и выхода сверла использовали накладки из органического стекла.

Вначале в пластине выполняли U-образный надрез с радиусом в вершине ρ = 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5 мм и определяли цену полосы материала модели по известным значениям коэффициентов концентрации напряжений α_σ для таких вырезов, приведенных в работе [2].

После испытания пластин с U-образным вырезом из них последовательно вырезали модели штока (рис. 1).

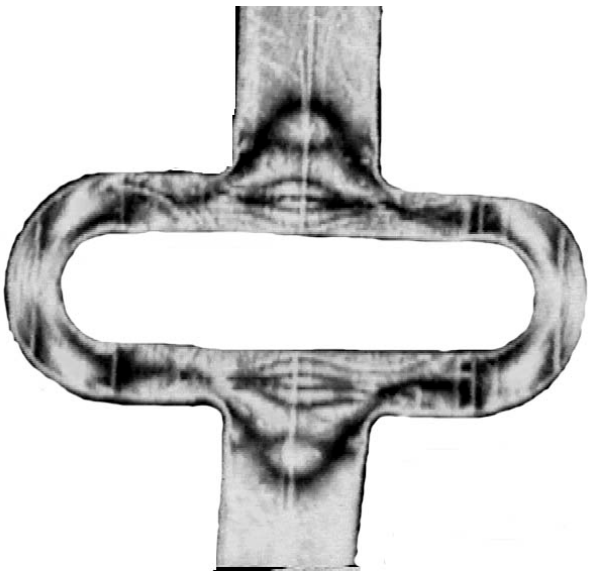

Рис. 1. Экспериментальные модели штока электролобзика на основе эпоксидной смолы ЭД-6М.

Такая процедура изготовления моделей позволила снизить погрешности эксперимента, связанные с разбросом оптических свойств материала и влиянием остаточных напряжений от

механической обработки. Исследование напряженного состояния проводили на полярископе с рабочим полем 125 мм, в котором источником монохроматического света служат натриевые лампы. Распределение разности главных напряжений, необходимое для определения коэффициентов концентрации и градиентов разности главных напряжений, дает картина изохром, которую фиксировали на фотоапарат, а также на видеокамеру с цифровой обработкой изображения. Изоклины устраняли с помощью двойной экспозиции с поворотом плоскости поляризации на 45° либо наложением изображения.

Из теории упругости известно, что распределение напряжений в пластине в условиях плоской деформации или обобщенного плоского напряженного состояния не зависит от упругих постоянных материалов. Поэтому, если удается найти распределение напряжений для пластинки (детали) из какого-либо изотропного материала, то эти результаты могут быть приняты для модели из другого изотропного материала при условии, что в обоих случаях величина, расположение внешних сил и размеры пластинок будут одинаковыми. Кроме того, оптически активные материалы в довольно широких пределах следуют закону Гука.

Для определения коэффициентов концентрации α_σ и максимальных градиентов разности главных напряжений $G_{(\sigma_1-\sigma_2)}$ необходимо знать напряжение в вершине концентратора. От того, с какой точностью определен этот порядок, зависит величина максимального напряжения $\sigma_{1макс}$.

Распределения разности главных напряжений в зоне концентратора хорошо описывается показательной функцией вида:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = ae^{-cr},$$

где r – расстояние от вершины концентратора до центра полосы;

e – основание натуральных логарифмов;

a, c – коэффициенты, определяемые способом наименьших квадратов.

Поскольку на свободной поверхности σ_2 = 0, то σ_1 примет свое максимальное значение.

Коэффициент концентрации напряжений α_σ определяется по формуле:

$$\alpha_\sigma = \sigma_{макс} / \sigma_н,$$

где $\sigma_{макс}$ – максимальное напряжение в вершине концентратора;

$\sigma_н$ – номинальное напряжение.

Номинальное напряжение при растяжении равно:

$$\sigma_н = P / tb,$$

где P – нагрузка;

t и b – соответственно, толщина и минимальная ширина модели.

Для определения значения градиента напряжений в вершине концентратора продифференцируем выражение по r. В работе [6] значение градиента в вершине концентратора называют максимальным градиентом. Значение максимального градиента

$$\overline{G}_{(\sigma_1-\sigma_2)} = \left[d(ae^{-cr})/dr\right].$$

В расчетах обычно используют максимальный относительный градиент $\overline{G}_{(\sigma_1-\sigma_2)}$, который равен:

$$\overline{G}_{(\sigma_1-\sigma_2)} = G_{(\sigma_1-\sigma_2)} / \sigma_{макс},$$

Приближенное значение $G_{(\sigma_1-\sigma_2)}$ можно определить из выражения

$$G_{(\sigma_1-\sigma_2)} \approx \frac{\Delta(\sigma_1-\sigma_2)}{\delta},$$

где $\Delta(\sigma_1-\sigma_2) = G_0$ – цена полосы материала модели;

δ – расстояние между двумя изохромами в направлении градиента максимальное значение которого определяют в вершине концентратора $r = 0$.

Полученные экспериментальные значения коэффициентов концентрации напряжений дают хорошее количественное совпадение. Отклонение отдельных точек не превышает 5%.

Выводы. Применение предложенной методики определения коэффициентов концентрации и градиентов напряжений позволили усовершенствовать конструкцию штока и значительно повысить надежность и долговечность работы электроинструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шрон Л. Б. Рекомендации по оценке концентрации напряжений в сварных соединениях / Л. Б. Шрон // Научно-технический сборник. – Севастополь : Севастопольское отделение Allians Francaise ; СевГТУ, 1995. – № 3. – С. 39–46.
2. Александров А. Я. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела / А. Я. Александров, М. Х. Ахметзянов. – М. : Наука, 1973. – 576 с.
3. Определение коэффициентов концентрации напряжений в нестандартных задачах поляризационно-оптическими методами / [Г. Н. Албаут, В. Н. Барышников, В. В. Пангаев, М. В. Табанюхова, Н. В. Харинова] // Физическая мезомеханика. – 2003. – № 6. – С. 91–95.
4. Пестриков В. М. Механика разрушения твердых тел : курс лекций / В. М. Пестриков, Е. М. Морозов. – СПб. : Профессия, 2002. – 320 с.
5. Табанюхова М. В. Напряжения и коэффициенты их концентрации в пластинах с ромбическими вырезами / М. В. Табанюхова, Н. В. Харинова //

Сборник трудов НГАСУ. – Новосибирск, 2003. – С. 154–157.
6. Когаев В. П. Расчеты на прочность при напряжениях переменных во времени / В. П. Когаев. – М. : Машиностроение, 1977. – 232 с.

УДК 621.9.026

Абдулгазис Д. У., Умеров Э. Д.

СТЕНДОВАЯ И СТАНОЧНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНДОТЕРМИЧЕСКОЙ МАСЛЯНОЙ СОТС

Викладена методика і наведені результати стендових і верстатних випробувань ефективності масляних СОТС з присадкою, що володіє ендотермічною ефектом.

Ключові слова: *ендотермічний ефект, масляні мастильно-охолоджуючі рідини, матриця-носій, кристалогідрати.*

Изложена методика и приведены результаты стендовых и станочных испытаний эффективности масляных СОТС с присадкой обладающей эндотермическим эффектом.

Ключевые слова: *эндотермический эффект, масляные смазочно-охлаждающие жидкости, матрица-носитель, кристаллогидраты.*

The technique and results of bench and machine oil coolants efficacy trials with the additive, which has an endothermic effect.

Key words: *endothermic effect, oil metalworking fluids, the matrix carrier, crystalline.*

Постановка проблемы. Традиционно снижение температуры резания металлов под действием СОТС осуществляется за счет активного теплоотвода с открытых поверхностей обрабатываемой детали и инструмента. При этом охлаждающую способность современных СОТС принято оценивать по их теплофизическим и физическим параметрам: коэффициенту теплопроводности, удельной теплоемкости, теплоте испарения и смачиваемости контактирующих поверхностей.

Смазочно-охлаждающие жидкости на основе масел растительного, минерального и синтетического происхождения, безусловно, являясь лидерами по смазочным свойствам среди всех разновидностей СОТС, существенно уступают по охлаждающим качествам.

При разработке новых масляных композиций с улучшенными свойствами используют присадки различного назначения, в основном моющие и дисперсирующие, а возможность снижения температуры резания путем использования энергоемких эндотермических эффектов во вводимых в масла присадках остается без внимания.

Анализ литературы. При различных видах механической обработки применяют различные виды СОТС: смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), распыленные жидкости, газообразные среды и твердые смазки. Из всего перечисленного СОЖ получили наибольшее распространение.

Современные СОЖ представляют собой [1–3] однородные или многокомпонентные технологические среды, свойства которых направлены на оптимизацию процесса резания.

Широко применяемые в настоящее время масляные СОЖ представляют собой минеральные масла без присадок и с присадками различного назначения. Обладая хорошими смазочными свойствами, они имеют низкую охлаждающую способность, высокую стоимость, повышенную пожароопасность и испаряемость [1].

Отметим, что все вышесказанное – это оценки прошлого столетия. В работе [4] справедливо утверждается, что экологическая направленность современного машиностроения выдвигает проблему отказа от СОТС, формируемых на минеральной основе, либо резкое, на несколько порядков сокращение их использования.

Обострение негативных для экологии последствий использования СОТС на основе масел нефтяного происхождения в последнее время побудило специалистов вновь обратится к растительным маслам. Но использование пищевых продуктов как основной компоненты СОТС выдвигает на передний план задачу минимизации ее подачи в зону резания при условии сохранения технологического эффекта. Кроме того, растительные масла подаются в зону резания, как правило, в чистом виде, без традиционной для СОТС водной компоненты, что обостряет проблему теплоотвода от режущих лезвий сверла.

Цель статьи – экспериментально показать возможность повышения охлаждающей способности масляных СОТС при сверлении использованием присадок с энергоемким эндотермическим эффектом.

Изложение основного материала. На основе ряда предварительных экспериментов была осуществлена подборка перспективных кристаллогидратов – термопоглотителей, был вы-

бран наиболее оптимальный матричный носитель композиции – растительное масло, была определена область применения эндотермической СОТС – резание металла концевым инструментом (сверление отверстий, расточка глухих отверстий, нарезание резьбы в глухих отверстиях). После осуществления вышеизложенного был осуществлен переход к стендовой, а затем и станочной оценке эффективности эндотермической масляной СОТС.

Стендовая оценка эффективности эндотермической СОТС. Основываясь на результатах дериватографических исследований различных кристаллогидратов, результатах экспериментов с вариацией происхождения растительных масел и вводимых в композицию кристаллогидратов, осуществлялась стендовая оценка эффективности экспериментальной эндотермической СОТС.

Принципиальная схема стенда представлена на рис. 1. В основе схемы находится деталь-имитатор 1, на которую из смесителя 2 подается эндотермическая СОТС. Величина расхода СОТС регулируется краном 4. Устойчиво однородное состояние всего объема СОТС в смесителе 2 обеспечивается подачей барботирующего воздуха через трубку 3 под давлением 125 кПа. Температурный режим детали-имитатора 1 обеспечивается нагревательной спиралью 6, которая изолирована термостойким электроизолятором, и регулируется изменением силы тока с помощью реостата 12. Измерение температуры на поверхности детали-имитатора в зоне подачи СОТС осуществляется с помощью милливольтметра 8 и термопары 9. Прижатие термопары 9 к поверхности детали-имитатора выполняется с помощью винта 7 через теплоизолятор 10. Эндотермическая СОТС, омывая деталь-имитатор, стекает в поддон 11.

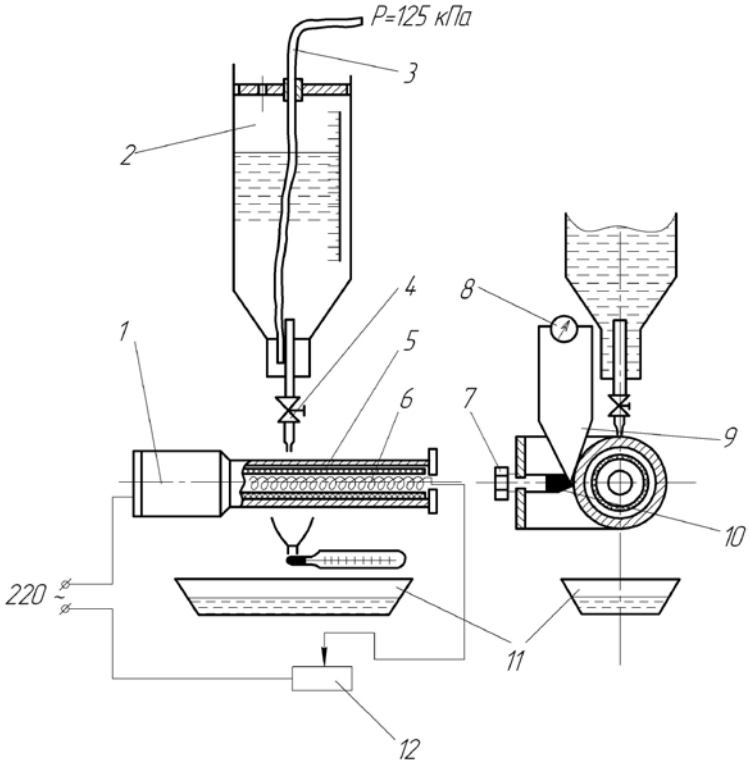

Рис. 1. Принципиальная схема стенда для определения охлаждающих свойств эндотермической СОТС.

В качестве матрицы-носителя эндотермической СОТС принято подсолнечное масло, выбор которого был обоснован ранее. Соотношение растительного масла к кристаллогидрату изначально было принято 1:0,5. Но предварительные эксперименты показали, что снижение доли кристаллогидрата до 0,1 к значимому ухудшению эндотермического эффекта не приводит.

Положение крана обеспечивает расход СОТС 0,120 л/мин., т. е. обеспечивается малорасходная подача.

Для подачи СОТС с помощью реостата 12 обеспечивалась стабильная температура (в течение 10 минут) на поверхности детали-имитатора. Затем, с указанным выше расходом, подавалось чистое растительное масло и фиксировались показания милливольтметра, перетарированного под термометр. После замера температуры стенд отключался, остывал, вымывалась рабочая поверхность детали-имитатора. Процесс вновь повторялся уже при подаче масла с эндотермической присадкой.

Таким образом было произведено 7 замеров с нарастающей от 300 до 550°С начальной тем-

пературой детали-имитатора. Результаты экспериментов приведены на рис. 2. При каждом замере виден ожидаемый эффект. Температура детали-имитатора при подаче СОТС с эндотермической присадкой была ниже, нежели при подаче масла без присадки. При температуре детали-имитатора 500°С эффект применения эндотермической присадки составил 160°С.

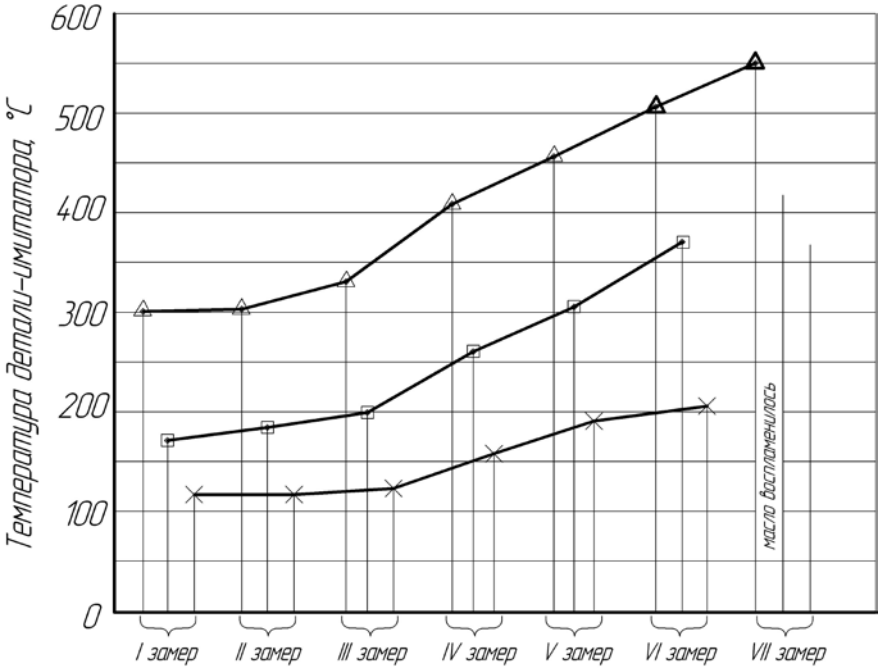

Рис. 2. Температура поверхности детали-имитатора:
△ – до подачи СОТС (стабильная, начальная);
□ – при подаче масла (СОТС) без эндотермической присадки;
× – при подаче экспериментальной СОТС с эндотермической присадкой.

Результаты станочных испытаний теплоотводящей способности экспериментальной СОТС. Оценка теплоотводящей способности экспериментальной композиционной СОТС осуществлялась на универсально-фрезерном станке, в шпинделе которого закреплялось сверло ø 12,5 мм из быстрореза Р6М5К5. Обрабатываемая заготовка из стали 3 жестко закреплялась на столе станка. Теплоотводящую способность экспериментальной композиционной СОТС определяли по средней температуре поверхности соприкосновения сверла со стружкой и заготовкой, которую общепринято называть температурой резания. Температуру резания измеряли с помощью естественной термопары сверло-заготовка (Р6М5К5 – сталь 3).

Тарировку естественной термопары осуществляли с помощью ртутного термометра, который вместе со сверлом и приваренной к нему стружкой опускали в емкость с расплавленным оловянно-свинцовым припоем.

Теплоотводящую способность экспериментальной композиционной СОТС определяли по температуре поверхности соприкосновения лезвия резца со стружкой и заготовкой, т. е. с помощью дифференциальной термопары сверло-заготовка. Усиление получаемого сигнала осуществлялось с помощью прибора собственной разработки. Запись результатов осуществлялась с помощью персонального ЭВМ и осциллографа GBM-800 (рис. 3). Результаты тарировки представлены на рис. 4.

Рис. 3. Схема экспериментальной установки.

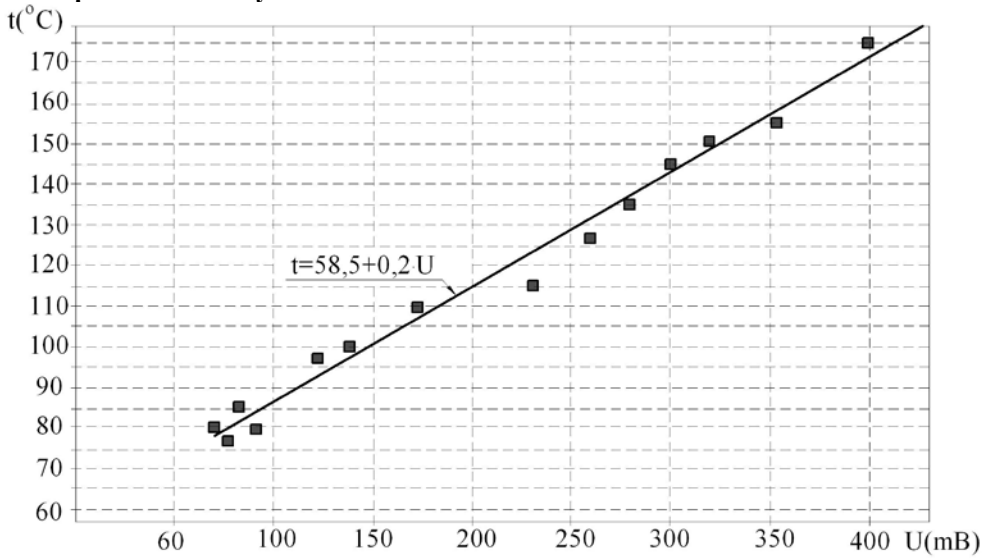

Рис. 4. Результаты тарировки.

Для сравнения эксперименты проводились при различных скоростях резания и подачах инструмента: в режиме сухой обработки, при подаче в зону резания подсолнечного масла и при подаче экспериментальной композиционной СОТС 0,120 л/мин.

Подачу экспериментальной эндотермической СОТС в зону резания осуществляли с помощью специально разработанного смесителя, в котором диаметр пластиковой трубки составлял 4 мм, зазор между подводящей воздух трубкой и направляющей втулкой – не менее 1 мм, объем смеси – не более одного литра (рис. 5).

Конструкция смесителя позволяла поддерживать однородный состав композиции. Транспортирующий и барбатирующий воздух подавался в смеситель с постоянным давлением 125 кПа.

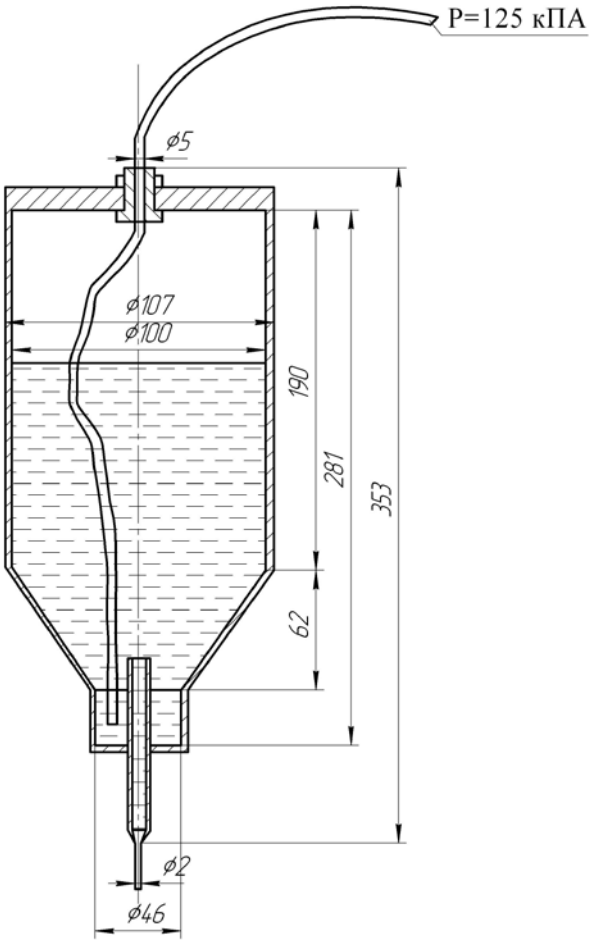

Рис. 5. Схема смесителя для формирования композиционного СОТС.

При величинах подач сверла 0,10 и 0,16 мм/об. активного эндотермического эффекта не наблюдалось (рис. 6 и 7), поскольку кристаллогидратная компонента СОТС не получала необходимого для дегидратации температурного воздействия.

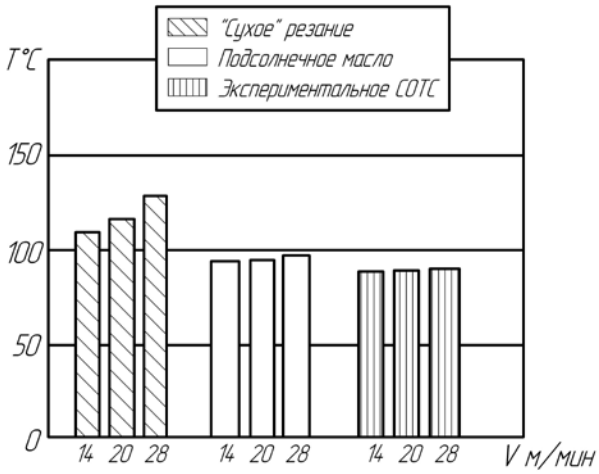

Рис. 6. Температура резания в различных средах при подаче S = 0,10 мм/об.

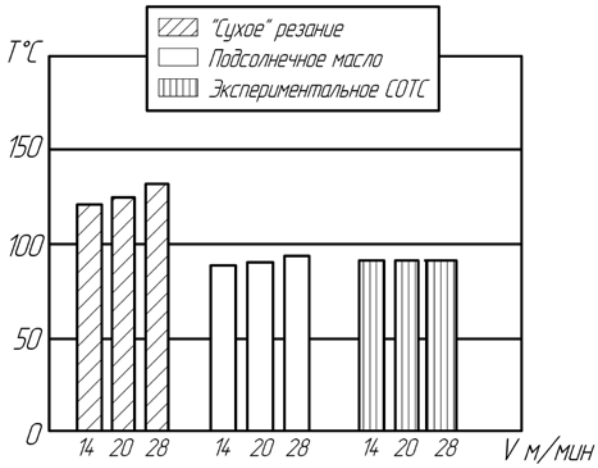

Рис. 7. Температура резания в различных средах при подаче S = 0,16 мм/об.

Зато при подаче сверла 0,25 мм/об. было очевидно проявление эндотермического эффекта. Экспериментальная СОТС обеспечивала снижение температуры резания от 37°С при подаче 0,25 мм/об. до 105°С при подаче 0,4 мм/об. (рис. 8, 9).

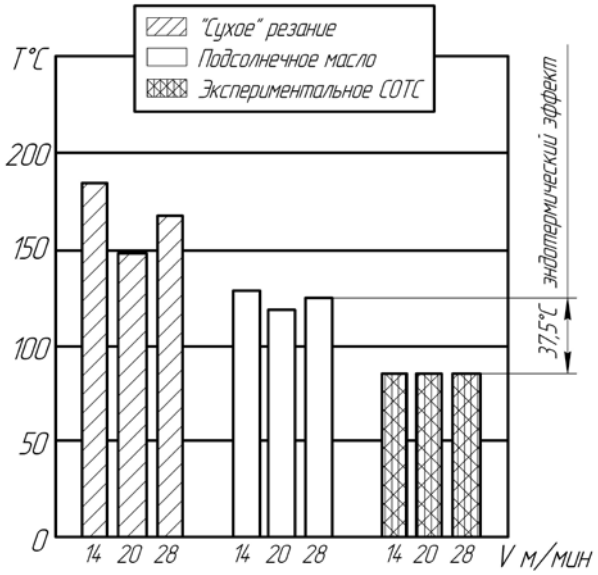

Рис. 8. Температура резания в различных средах при подаче S = 0,25 мм/об.

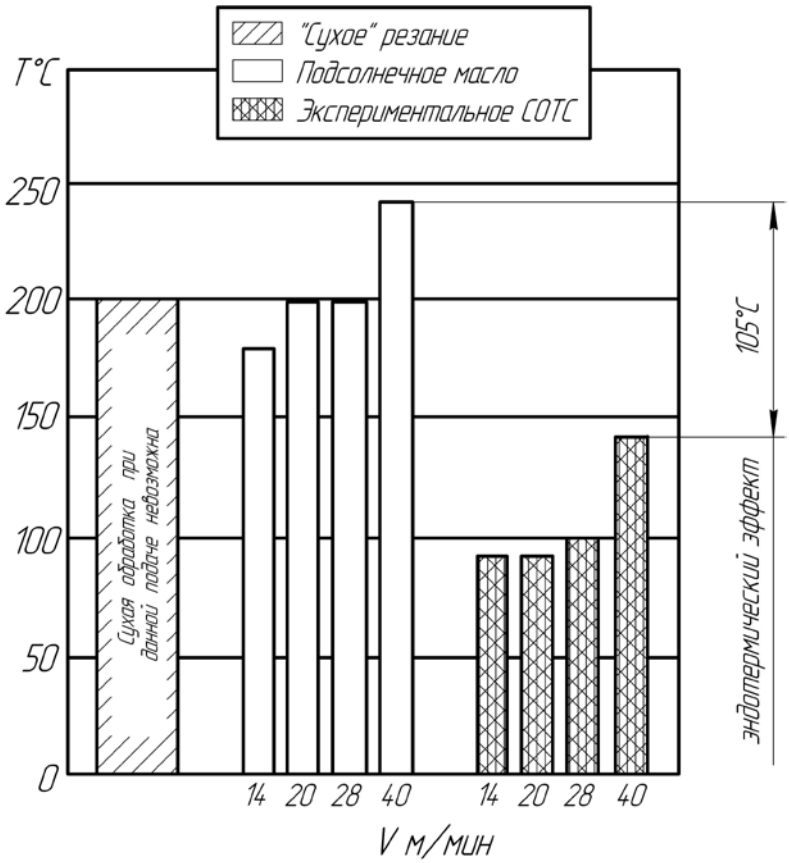

Рис. 9. Температура резания в различных средах при подаче S = 0,4 мм/об.

Следует отметить, что при подаче сверла 0,4 мм/об. в интервале скоростей резания 14–28 м/мин. наблюдалась стабильная температура резания. Попытка увеличить скорость до 40 м/мин. показала, что постоянство температуры резания утрачено, но проявление эндотермического эффекта продолжается. Соотношение растительного масла к кристаллогидрату по массе составляло 4:1. Стабильность температуры в интервале скоростей резания 14–28 м/мин., очевидно, обеспечивалась завышенной долей кристаллогидрата в экспериментальной СОТС.

Вывод. Оценивая результаты станочных экспериментов, можно сделать заключение о том, что проявление эндотермического эффекта при малых скоростях резания очевидно снизит вероятность наростообразования на лезвии, что положительно скажется на шероховатости обрабатываемой поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием : справочник / под ред. С. Г. Энтелиса, Э. М. Берлинера. – [2-е изд., перераб. и доб.]. – М. : Машиностроение, 1998. – 496 с.
2. Ошер Р. Н. Производство и применение смазочно-охлаждающих жидкостей (для обработки металлов резанием) / Р. Н. Ошер. – М. : Гостоптехиздат, 1963. – 226 с.
3. Смазочно-охлаждающие жидкости и их применение при производстве режущего инструмента. Методические рекомендации – М. : ВКИИ инструмент, 1986. – 73 с.
4. Якубов Ч. Ф. Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием / Ч. Ф. Якубов. – Симферополь : ОАО «Симферопольская городская типография», 2008. – 156 с.

РАЗДЕЛ 3. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

УДК 631.3.004.67

Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В.

ОБОСНОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СЕРВИСНЫХ СРЕДСТВ В АПК УКРАИНЫ

Стаття розкриває методику математичного моделювання з використанням апарату теорії масового обслуговування для пошуку найбільш ефективних спеціалізованих ремонтних підприємств з системою фірмового технічного сервісу і застосуванням пересувних ремонтно-діагностичних майстерень РДМ.

Ключові слова: *витрати, технічне обслуговування, ремонт, напрацювання, ефективність, експлуатація, відмова, модель, сервіс.*

Статья раскрывает методику математического моделирования с использованием аппарата теории массового обслуживания для поиска наиболее эффективных специализированных ремонтных предприятий с системой фирменного технического сервиса и применением передвижных ремонтно-диагностических мастерских РДМ.

Ключевые слова: *затраты, техническое обслуживание, ремонт, наработка, эффективность, эксплуатация, отказ, модель, сервис.*

The article reveals methodology of mathematical modeling with the use of the apparatus of the theory of mass service for search of the most effective of the specialized repair enterprises with the system of technical service and the use of mobile repair-diagnostic workshops of the RDW.

Key words: *costs, maintenance, repair, operation, performance, operation, failure, model, service.*

Постановка проблемы. Использование МТА в агропромышленном комплексе Украины характеризуется тяжёлыми условиями эксплуатации в связи с особенностями сельскохозяйственного производства, что обусловливает более быстрое проявление дефектов и неисправностей как отдельных элементов в виде нарушений работоспособности, так и агрегатов в виде отказов.

Особенностью эксплуатации машинно-тракторных агрегатов в условиях Украины является их работа вдали от специализированных ремонтных предприятий, что предъявляет повышенные требования к безотказности и долговечности всех деталей и механизмов. Поэтому для поддержания машин в работоспособном состоянии необходимо в кратчайшие сроки устранять неплановые отказы [1].

В настоящее время существует множество подходов при решении вопросов выбора формы организации, исполнителя работ и видов средств по техническому сервису. Изучение организации процесса выполнения неплановых ремонтов и технических обслуживаний показало, что единого подхода к решению этого вопроса нет. Передвижные технические средства одних предприятий находятся на базе в ожидании поступления заявки на неплановое обслуживание, других – на эксплуатационных участках. В одних организациях неплановые ТО и ремонты выполняют бригады, специализированные по типам машин, в других – исполнители проводят ТО и ремонты разнотипных машин. Общим является то, что неплановые ТО и ремонты, за редким исключением, выполняются на месте работы машины силами выездных бригад, оснащённых передвижными техническими средствами.

Специализированные службы, имеющие в своём составе передвижные технические средства (передвижные средства ремонта, передвижные пункты, посты профилактики и ремонта), позволяют сократить простои техники при устранении последствий отказов, снизить время на ожидание и поиск запасных частей, повысить значение коэффициентов готовности и технического использования.

Анализ литературы. Влиянием количества работающих передвижных технических средств по устранению отказов, выбором формы организации и исполнителя работ по техническому сервису сельскохозяйственной техники посвящены работы таких ученых, как В. М. Забродский, Г. Е. Топилин [1], С. И. Беляева [2], Ю. К. Киртбая [3], А. С. Апатенко [4], Н. В. Хабардин [5] и др.

Цель статьи – обосновать пути эффективного использования передвижных технических сервисных средств в наиболее характерных типах специализированных служб по устранению отказов сельскохозяйственной техники.

Изложение основного материала. Как показал анализ, одним из современных методов обоснования наиболее приемлемого типа специализированной службы устранения отказов является математическое моделирование с использованием аппарата теории массового обслуживания.

Основным критерием для оценки эффективности был принят критерий – минимум затрат на эксплуатацию машинно-тракторных агрегатов (МТА), с учётом потерь от простоя базовых и агрегатируемых машин по техническим причинам в расчёте на один гектар.

В результате целевая функция минимума затрат на эксплуатацию МТА [3] $Y_{(А)}$ (грн./га), имеет следующий вид:

$$Y_{(А)} = \frac{З_{ПА} \times А_{НА} + З_{ЭА}(А_А - А_{НА}) + З_{РДМ} \times N}{А_А \times W_{ср} \times (1 - k_{ПА})} \to \min,$$

где $З_{ПА}$ – потери от простоя МТА, грн./ч.;

$З_{ЭА}$ – прямые затраты на эксплуатацию одного МТА, грн./ч.;

$З_{РДМ}$ – затраты на содержание ремонтно-диагностических мастерских (РДМ), грн./ч.;

$А_{НА}$ – среднее количество неработоспособных МТА, ед.;

$А_А$ – общее количество агрегатов, ед.;

$(А_А – А_{НА})$ – среднее количество работоспособных МТА, ед.;

N – количество передвижных РДМ в системе, ед.;

$k_{ПА}$ – коэффициент простоя МТА;

$W_{ср}$– среднечасовая эксплуатационная производительность одного технологического комплекса, га/ч.

Величины $А_{НА}$, $(А_А – А_{НА})$, $k_{ПА}$ являются случайными величинами и определяются с использованием методов теории массового обслуживания.

Оптимизация обеспеченности ремонтно-технических воздействий на МТА заключается в том, что всем её элементам необходимо придать такое количественное соотношение, чтобы в конкретных условиях обеспечивалось выполнение планируемых объёмов работ при минимуме финансовых затрат.

Целевая функция минимума затрат на эксплуатацию МТА $Y_{(А)}$ предлагает возможность оптимизации количества передвижных РДМ, используемых для технического обслуживания и ремонта в общей системе сервисных отношений. Выбрать такой сервис или сохранить существующий можно при построении математической модели и анализе полученных таким образом результатов.

Для достижения поставленных целей исследования предлагается математическая модель, имитирующая различные формы отношений между специализированным пунктом технического обслуживания и ремонта, на базе которого имеются передвижные РДМ, и владельцем техники. При этом объектом исследований выступает изменение состояния МТА в процессе эксплуатации с различными исполнителями видов технического обслуживания и ремонта [2].

В ходе модельных расчётов предполагается сравнивать варианты технического обслуживания с различными исполнителями. Модель позволяет имитировать различные схемы технического сервиса МТА, выделяя лучшие из них, и является инструментом, с помощью которого можно, при различных условиях, определить самый подходящий для владельца МТА вариант технического обслуживания и ремонта.

Моделирующая система включает в себя аграрные формирования, занимающиеся эксплуатацией данного МТА, а также предприятия-дилеры, реализующие и обслуживающие МТА [2]. Каждому предприятию соответствуют определенные характеристики, например, опыт эксплуатации имеющихся машин, наличие ремонтной базы, передвижных РДМ и кадров высокой квалификации.

В результате изучения проблемы было выделено 6 типов предприятий:

первого типа – имеют хорошо развитую ремонтную базу без передвижных РДМ и высококвалифицированные кадры;

второго типа – имеют хорошо развитую ремонтную базу с передвижными РДМ и высококвалифицированные кадры;

третьего типа – имеют слаборазвитую ремонтную базу без передвижных РДМ, отсутствуют высококвалифицированные кадры;

четвёртого типа – имеют слаборазвитую ремонтную базу с передвижными РДМ, отсутствуют высококвалифицированные кадры;

пятого типа – имеют среднеразвитую ремонтную базу без передвижных РДМ и кадры средней квалификации, есть возможность выполнения несложных работ по техническому обслуживанию и мелкому ремонту;

шестого типа – имеют среднеразвитую ремонтную базу с передвижными РДМ и кадры средней квалификации, есть возможность выполнения несложных работ по техническому обслуживанию и мелкому ремонту как в стационаре, так и в полевых условиях.

Модель имитирует прохождение МТА в цикле следующих этапов:

1) доставки, наладки и регулировки;
2) эксплуатации с проведением соответствующих работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Формирующийся информационный файл в модели представляет матрицу, содержащую сведения обо всех МТА в исследуемый период [3].

Общая структура модели представлена на рис. 1. Цифрами отмечены следующие этапы имитации модели:

1 – ввод исходных данных;

2–7 – доведение МТА до владельца:

2 – полное фирменное обслуживание МТА (100%) (вариант 1);

3 – ЕТО – владелец МТА, ТО-1, 2, 3, текущий и капитальный ремонт – дилер (вариант 2);

4 – ЕТО, ТО-1, 2 – владелец МТА, ТО-3, текущий и капитальный ремонт – дилер (вариант 3);

5 – операции по ТО – владелец МТА, текущий и капитальный ремонт – дилер (вариант 4);

6 – операции по ТО и текущий ремонт – владелец МТА, капитальный ремонт – дилер (вариант 5);

7 – все операции по ТО, ремонту выполняются владельцем МТА (вариант 6);

8–13 – эксплуатация при соответствующих условиях контрактов на техническое обслуживание и ремонт (учёт количества отказов, плановых воздействий по ТО и хранению, расход топлива и масла, затрат на них, убытков от простоев);

14 – результирующие показатели (затраты на эксплуатацию и убытки владельца, размер платежа за договор).

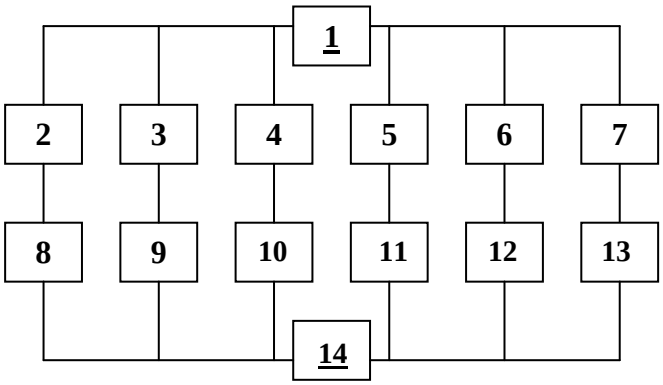

Рис. 1. Структура имитационной математической модели отношений между специализированным пунктом технического обслуживания и ремонта с передвижными РДМ и владельцем МТА для каждого типа предприятий.

Далее проводилось сравнение эффективности использования сервисных отношений для различных вариантов распространения фирменного технического обслуживания. При этом под условиями понимались особенности шести типов предприятий.

Данные расчёты проводились для определения наиболее эффективных отношений между предприятием-дилером и владельцем МТА с целью выявления наиболее рационального типа предприятия. Это позволило установить, в каких случаях внедрение сервисного обслуживания улучшает результаты деятельности специализированных ремонтных предприятий, а в каких нет.

Основным итоговым показателем, по которому сравнивались результаты различных отношений между дилером и владельцем, был показатель затрат на час работы МТА – $З_{ЭА}$. Как показал анализ, из всех показателей, рассчитываемых в модели, именно этот наилучшим образом отражает эффективность применения исследуемых вариантов имитационной модели [6; 7].

Полученные графические представления всех типов предприятий (рис. 2–4), в конечном итоге, дают возможность охарактеризовать эффективность работы предприятий с владельцем МТА.

Специализированные ремонтные предприятия, отнесенные к первому и второму типам (рис. 2), несут убытки при организации фирменного технического сервиса за счёт увеличения затрат на час работы МТА, которые не компенсируются улучшением ряда показателей надежности (вероятность безотказной работы, коэффициент технической готовности).

Объясняется это тем, что характерные для этих предприятий такие характеристики, как хорошо развитая ремонтная база и профессиональные кадры, позволяют не привлекать услуги со стороны. На предприятиях достаточно собственных сил и средств, для того, чтобы выполнять работы быстро и качественно, при этом удерживая затраты на низком уровне. Использование на предприятии РДМ позволяет снизить затраты на ЕТО, ТО–1, 2, 3 и ТР на 18%, но при условии что ТО–1, 2, 3, ТР будет выполнять дилер. Поэтому таким предприятиям может быть не рекомендовано заключение договоров на фирменный технический сервис.

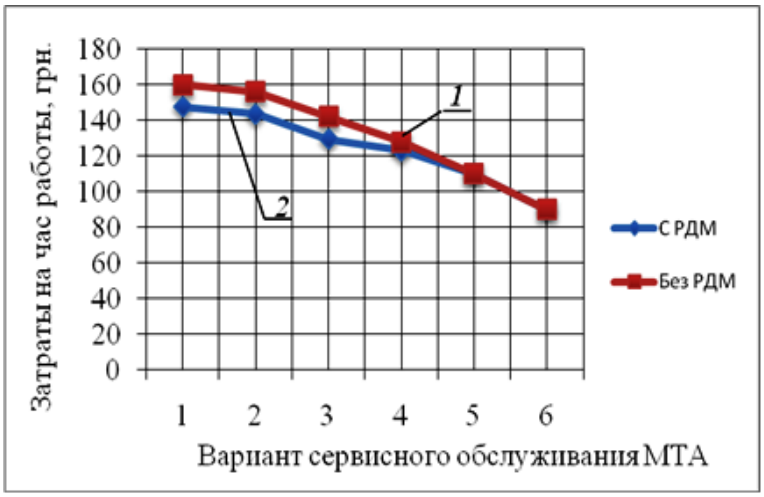

Рис. 2. Графическое представление аналитических зависимостей затрат на один час работы МТА в зависимости от 6 вариантов имитации модели для первого (1) и второго (2) типов предприятий-дилеров.

Если проводить ТО, ТР и КР силами владельца МТА и средствами дилера третьего и четвёртого типов, то возникнут длительные простои и повышенные затраты при обслуживании. Это результат отсутствия профессиональных кадров с опытом работы на предприятии, что затрудняет качественное проведение ТО МТА и, как следствие, приводит к длительным простоям и частым выходам из строя МТА.

Даже применение РДМ незначительно сокращает затраты при проведении ТО и ТР.

Таким предприятиям может быть рекомендовано заключение договоров на фирменный технический сервис. Это позволит снизить затраты на час работы МТА за счёт повышения уровня работы кадров, которые, в соответствии с договором, пройдут стажировку (рис. 3).

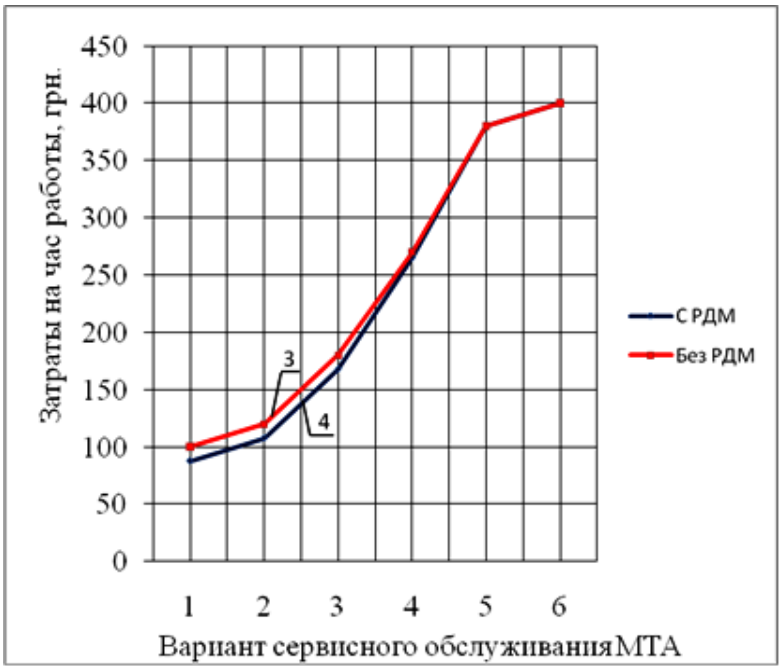

Рис. 3. Графическое представление аналитических зависимостей затрат на один час работы МТА в зависимости от 6 вариантов имитации модели для третьего (3) и четвёртого (4) типов предприятий-дилеров.

Графическое представление предприятий пятого и шестого типов (рис. 4) имеют более сглаженный вид по сравнению с предыдущими типами. Происходит снижение затрат на 30%, что показывает минимизацию затрат на час работы МТА и ведёт к внедрению фирменной системы технического сервиса.

В этом случае выбор пятого типа остается за владельцем МТА, так как ощутимого эффекта от перехода этих предприятий на фирменный технический сервис может не быть.

При использовании передвижных РДМ затраты владельца дополнительно снижаются на 5%.

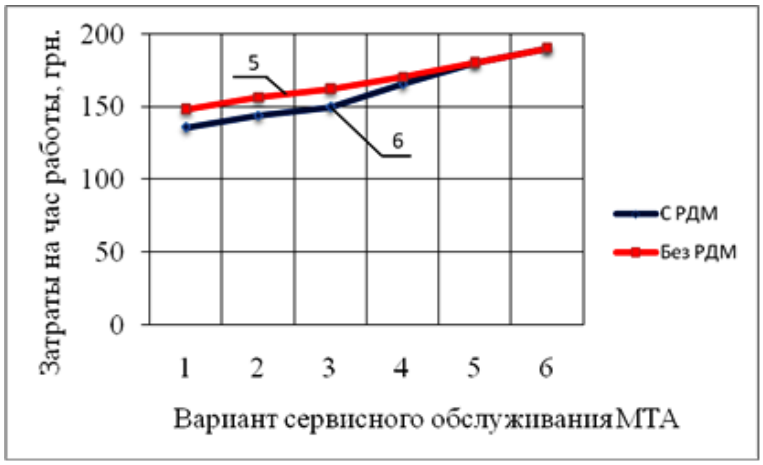

Рис. 4. Графическое предвставление аналитических зависимостей затрат на один час работы МТА в зависимости от 6 вариантов имитации модели для пятого (5) и шестого (6) типов предприятий дилеров.

Использование второго и шестого типов распространения фирменного технического сервиса с использованием РДМ ведёт к уменьшению затрат более чем в 1,5–2 раза. При этом происходит снижение общего числа отказов МТА, простоев по техническим причинам, увеличение наработки на отказ в среднем на 45 мото-часов (рис. 5).

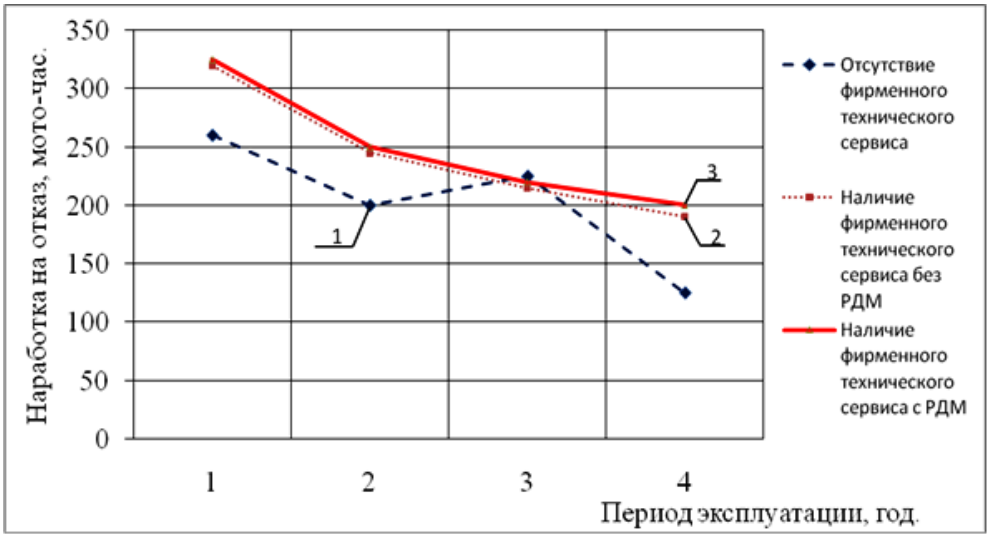

Рис. 5. Изменение наработки на отказ одного МТА: 1 – отсутствие фирменного технического сервиса МТА; 2 – наличие фирменного технического сервиса МТА без РДМ; 3 – наличие фирменного технического сервиса МТА с РДМ.

Выводы. Уровень надёжности МТА определяется при его формировании с учётом того, что надёжность работы обусловлена уровнем надёжности технических средств в его составе и выбором формы и состава службы фирменного технического сервиса.

Главным фактором в повышении эффективности производства при привлечении службы фирменного технического сервиса является не только снижение затрат на обслуживание машин и оборудования, но и увеличение объёма дополнительной продукции, которая может быть получена в результате использования полного комплекса услуг, предоставляемых производителем либо его дилером при снижении простоя МТА, находящегося в ремонте, за счёт использования РДМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение безотказной работы тракторов / [В. М. Забродский, Г. Е. Топилин, С. Г. Стопалов, Е. Г. Тома]. – К. : Урожай, 1985. – 272 с.
2. Беляева С. И. Имитационное моделирование систем массового обслуживания / С. И. Беляева. – М. : ГПИ, 1988.
3. Фирменный ремонт машин / [А. Халаберда, В. Кветкин, К. Дементьев, К. Максимов] // Плановое хозяйство. – 1986. – № 3. – С. 99–105.
4. Апатенко А. С. Влияние количества работающих агрегатов технологических комплексов на эффективность применения передвижных технологических средств по устранению отказов / А. С. Апатенко // Труды ФГОУ ВПО «Московский государственный университет природообустройства». – М., 2010. – С. 15–19.
5. Хабардин В. Н. Ресурсосберегающие технологии и средства технического обслуживания машин в

сельском хозяйстве / В. Н. Хабардин // Инновационная деятельность и развитие АПК : материалы круглого стола. – Иркутск, 2009. – С. 39–50.
6. Конкин Ю. А. Практикум по экономике ремонта сельскохозяйственной техники / Ю. А. Конкин. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Агропромиздат, 1988. – 167 с.
7. Тракторы и машины сельскохозяйственные. Определение затрат на устранение последствий отказов. Основные положения: ОСТ 23.1.47-80.

УДК 629.76

Бекиров Р. Н., Бекиров Л. Р.

ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОСЛЕУБОРОЧНОЕ ХРАНЕНИЕ ХЛОПКА-СЫРЦА

У наданій статті розглянуто та оцінено внесок різноманітних факторів на якісні характеристики бавовни в процесі зберігання. Якісні характеристики бавовни-сирцю, такі як розривне навантаження, сортність бавовни-сирцю, насіння і волокна, змінюються за часом зберігання внаслідок впливу на них температури самозігрівання.

Ключові слова: *бавовна, волокно бавовни, насіння бавовни, міцність, розривне навантаження, сортність, температура самосугріву, вологість.*

В представленной статье рассмотрен и оценен вклад различных факторов на качественные характеристики хлопка-сырца в процессе хранения. Качественные характеристики хлопка-сырца, такие как разрывная нагрузка, сортность хлопка-сырца, семян и волокна, изменяются по времени хранения в результате возникающей и влияющей на них температуры самосогревания.

Ключевые слова: *хлопок-сырец, хлопковое волокно, хлопковые семена, прочность, разрывная нагрузка, сортность, температура самосогревания, влажность.*

In this article the contribution of various factors on the quality characteristics of raw cotton during storage is reviewed and evaluated. Qualitative characteristics of cotton, such as tensile strength, cotton seed grade, grade of seeds and fibers vary in the time of storage as a result of self-heating temperature.

Key words: *raw cotton, cotton fiber, cotton seeds, strength, tensile strength, grade, temperature of self-heating, humidity.*

Постановка проблемы. Обеспечение стабильности качественных характеристик при хранении собранного хлопка-сырца всегда было проблемным, так как сопутствующие его компоненты (волокно, семена, сор, пороки и др.) имеют разные значения влажности, и в процессе хранения происходит самосогревание хлопка-сырца, что начинается с семян как компонента более высокой влажности, чем окружающие их волокна.

Влажность семян, с которой начинается самосогревание, составляет 12–13% (для I, II, III сортов) и 14–15% (для IV и V сортов), что соответствует влажности волокна хлопка-сырца, соответственно, 10–11% и 12–13% [1; 2].

В процессе хранения хлопка-сырца возникают различные проблемы:

- снижение разрывной нагрузки волокна в зависимости от времени хранения;
- увеличение количества пороков и сорных примесей в волокне за счёт повышенного содержания кожицы с волокном;
- повышение засоренности семян при первичной обработке хлопка-сырца после хранения, например в процессе джинирования за счёт повышения содержания горелых семян [3; 4].

Анализ литературы. Динамика самосогревания хлопка-сырца влажностью 14–22%, как отмечают авторы [5; 6], неравномерна: резкое повышение температуры хлопка при хранении, стабилизация температуры до определённого уровня, медленный спад (рис. 1). При этом среднесуточный прирост температуры зависит от исходной влажности и колеблется в пределах 2–8ºС.

Процесс самосогревания хлопка-сырца с исходной влажностью выше 20ºС обычно описывается эмпирическими зависимостями [5]:

$$T = \frac{t}{0{,}193 - 0{,}03t + 0{,}0394\,t^2} + T_н, \text{ при } 0 \le t \le 7,$$

$$T = \frac{t}{0{,}875 + 0{,}00178\,t^2} + T_н, \text{ при } 7 \le t \le 15,$$

$$V = \frac{0{,}193 - 0{,}0394t^2}{(0{,}193 - 0{,}03t + 0{,}0394t^2)^2}, \text{ при } 0 \le t \le 7,$$

$$V = \frac{0{,}0875 - 0{,}00178\,t^2}{(0{,}0875 + 0{,}00178\,t^2)^2}, \text{ при } 7 \le t \le 15,$$

где T – температура хлопка-сырца при хранении, ºС;
$T_н$ – температура хлопка-сырца в начале хранения, ºС;
t – время хранения хлопка-сырца, сутки;
V – среднесуточный прирост температуры (динамика протекания процесса), ºС.

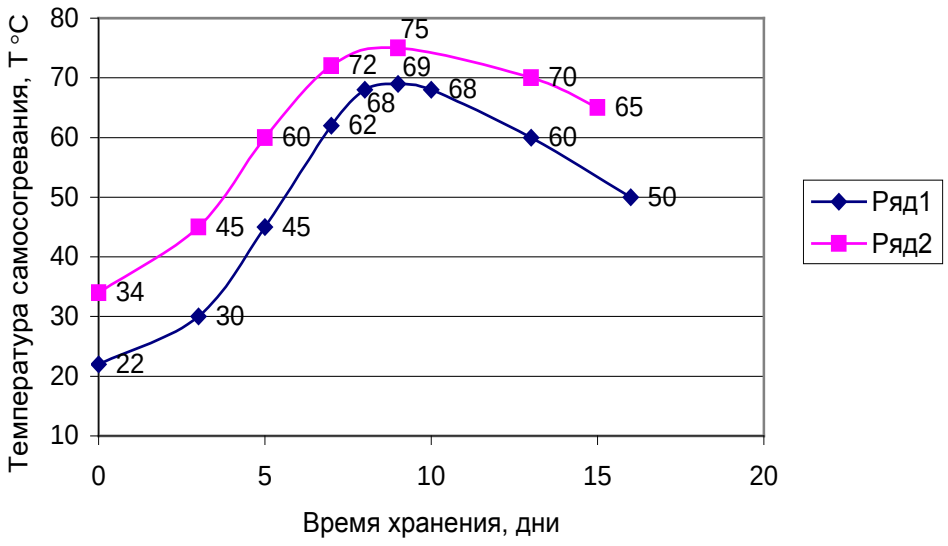

Рис. 1. Динамика изменения температуры самосогревания при хранении хлопка-сырца повышенной влажности: 1 – при влажности 16%; 2 – при влажности 22%.

Пронализируем изменения такого качественного показателя, как $P = f(t)$ – разрывная нагрузка волокна хлопка-сырца, в процессе хранения (рис. 2).

При исходной влажности волокна 16% разрывная нагрузка равна 41,2 мН, а при исходной влажности 22% этот показатель меньше на 5% и равен 39,2 мН.

На 6-ой день хранения при влажности 16% разрывная нагрузка P = 38,2 мН, при влажности 22% P = 34,83 мН, то есть разрывная нагрузка понижается на 8,5%.

Волокно влажностью 22% уже на третьи сутки хранения, достигнув P = 36,3 мН, переходит из второго сорта в третий, тогда как у волокна влажностью 16% показатель снижается до 36,3 мН и оно переходит из второго в третий сорт только на 15-й день [4; 5].

При этом относительная разрывная нагрузка волокна при изменении температуры самосогревания при влажности 16% имела на третьи сутки хранения значение более 22 гс/текс, а при влажности 22% этот показатель равен 20,9 гс/текс, то есть ниже на 50%.

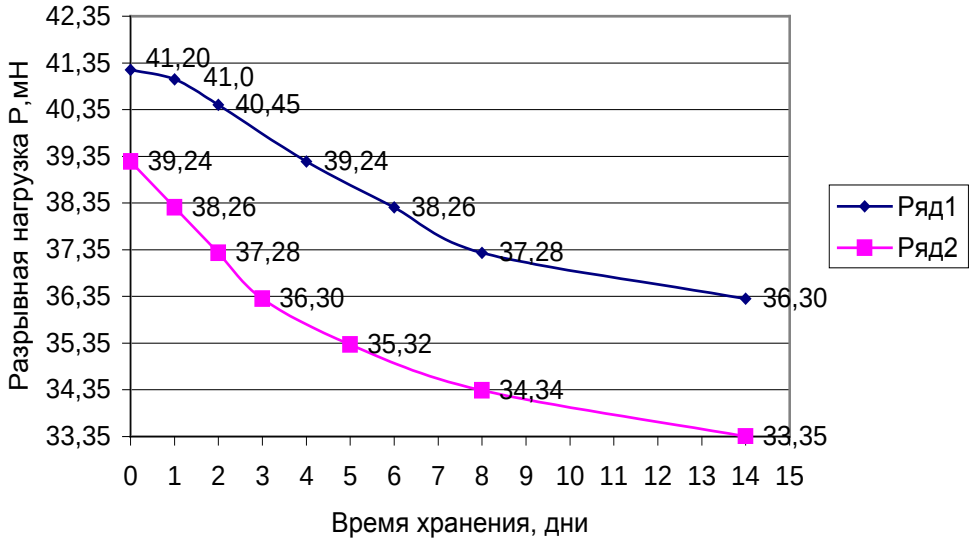

Рис. 2. Кривая изменения разрывной нагрузки $P = f(t)$ в зависимости от времени хранения при: 1 – влажность хлопка-сырца 16%; 2 – влажность хлопка сырца 22%.

Повышение температуры самосогревания резко увеличивает количество пороков и сорных примесей (за счёт повышения содержания комбинированных жгутков, волокон с кожицей и сора) (рис. 3): при влажности хлопка сырца 16% на 7–9 сутки хранения засоренность увеличивается вдвое, а при влажности 22% – уже на шестые сутки увеличивается втрое за счёт горелости семян [5].

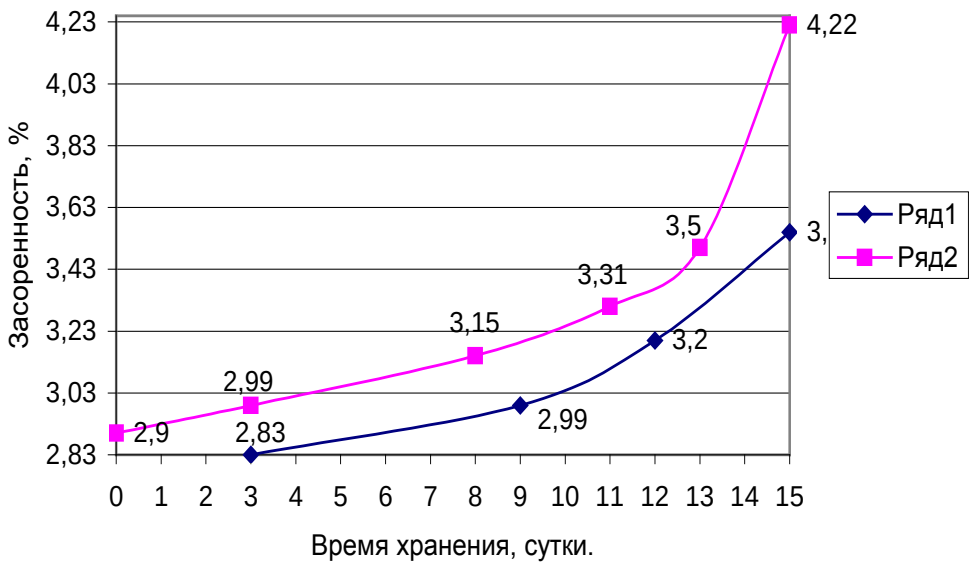

Рис. 3. Изменение засоренности при хранении хлопка-сырца повышенной влажности: 1 – при влажности 16%; 2 – при влажности 22%.

Цель статьи – раскрыть механизм самосогревания хлопка-сырца при его хранении при различных значениях исходной влажности и определить технические решения по стабилизации качественных показателей компонентов хлопка-сырца.

Изложение основного материала. Из анализа литературы видно, что процесс самосогревания хлопка-сырца при хранении напрямую зависит от его влажности: чем выше влажность, тем резче идёт процесс самосогревания. Воздействие этих двух факторов (влажность и температура самосогревания) ведёт к изменению такого качественного показателя, как разрывная нагрузка хлопка-сырца.

Если смоделировать процесс хранения как многофакторный эксперимент и применить при этом метод математического моделирования, можно выйти на оптимальные значения этого процесса [7; 8]. Поэтому параметром оптимизации принимаем y_1 – разрывная нагрузка, а параметром ограничения y_2 – пороки и сорные примеси при хранении хлопка-сырца.

Следовательно, можно рассмотреть этот процесс как двухфакторный эксперимент, где основными факторами являются x_1 – исходная влажность хлопка-сырца, %; x_2 – температура самосогревания, °С.

Рассмотрим интервалы варьирования каждого фактора. Стандартной величиной допустимой влажности хлопка-сырца является 10%; принимаем эту величину как нижний уровень, основной уровень – 15%, верхний уровень – 20%, интервал варьирования 5%. Фактор x_2 – температура самосогревания: нижний уровень – 24°С, основной уровень – 48°С, верхний уровень – 72°С, интервал варьирования – 24°С.

Отсюда имеем полный факторный эксперимент ПФЭ 2^2 (4 полных опытов). Вначале при планировании эксперимента рассматриваем линейную модель, и неизвестная функция отклика апроксимируется полиномом первой степени [7, с. 39]:

$$y = b_0 + b_1 y_1 x_1 + b_2 y_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2,$$

где y – критерий оптимизации (функция отклика);
b_0, b_1, b_2 – линейные коэффициенты;
b_{12} – коэффициент взаимодействия факторов;
x_1, x_2 – варьируемые факторы.

Уровни и интервалы варьирования факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Уровни и интервалы варьирования факторов.

№ п/п	Факторы	Уровни варьирования			Інтервал варьирования
		–1	0	+1	
1	Влажность хлопка-сырца (x_1), %	10	15	20	5
2	Температура самосогревания (x_2), °С	24	48	72	24

Для построения матрицы планирования проводим кодирование факторов по формуле:

$$X_i = \frac{C_i - C_{0i}}{\Sigma},$$

где X_i – кодовое значение i-го фактора;
C_i – натуральное значение i-го фактора;
C_{0i} – натуральное значение фактора по основному (нулевому) уровню;

$\sum$ – натуральное значение интервала варьирования *i*-го фактора.

Анализируя кривые изменения разрывной нагрузки $P = f(t)$ в зависимости от времени хранения (рис. 2), температуры самосогревания при хранении хлопка-сырца повышенной влажности (рис. 1), засоренности при хранении хлопка-сырца повышенной влажности (рис. 3), видим, что искомую функции нужно описать уравнением второго порядка [9]. При описании поверхности отклика уравнением второго порядка варьирование факторов только на двух уровнях не позволяет получить потребную информацию об объекте исследования.

Поэтому необходимо было перейти к планированию с варьированием факторов на трёх или пяти уровнях с использованием в своём эксперименте наиболее оптимальных для этих условий способа планирования.

Для данного эксперимента при числе варьируемых факторов $K = 2$ и в условиях, когда описание поверхности отклика ведётся вблизи центра эксперимента, целесообразно использовать рототабельный план второго порядка (план Бокса) [9, с. 93].

Для построения матрицы планирования второго порядка ПФЭ-2^2 в качестве «ядра» был использован рототабельный план с достраиванием «звёздных» точек на осях координат после определения «звёздного» плеча α – расстояния от нулевой точки до «звёздной» – по осям координат.

Число «звёздных» точек, нулевых точек, величина плеча для ротабельного плана второго порядка при числе варьируемых факторов $K = 2$ представлены в табл. 2, причём приведённые данные обеспечивают симметричность и рототабельность плана [9, с. 94].

Таблица 2.

Данные для построения матрицы рототабельного плана.

Число факторов (К)	Число точек «ядра» ($N_я$)	Число «звёздных» точек ($N_а$)	Число нулевых точек ($N_о$)	Величина плеча для «звёздных» точек (α)	Общее число опытов	Примечание
2	4	4	5	1,414	13	–

В дальнейшем искомая функция была представлена в виде полинома второй степени:

$y_u = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2$.

Оценку значимости коэффициентов регрессии проводили, применив следующие формулы [9, с. 98]:

$$S^2_{\{b_0\}} = \frac{2a\lambda_4 - (K+2)}{N} S^2_{\{\tilde{y}\}};$$

$$S^2_{\{bi\}} = \frac{S^2_{\{\tilde{y}\}}}{N - n_0};$$

$$S^2_{\{bij\}} = \frac{C^2}{N} S^2_{\{\tilde{y}\}};$$

$$S^2_{\{bii\}} = \frac{AC^2[(K+1)\lambda_4 - (K-1)]}{N} S^2_{\{\tilde{y}\}}.$$

Значения коэффициентов регрессии при рототабельном планировании второго порядка определяли по следующим формулам [9, с. 100]:

$$b_0 = 0{,}2\sum_1^{13} y_u - 0{,}1\sum_1^{2}\sum_1^{6} x_{1u}^2 y_u;$$

$$b_1 = 0{,}125\sum_1^{6} x_{1u} y_u;$$

$$b_2 = 0{,}125\sum_1^{6} x_{2u} y_u;$$

$$b_1 = 0{,}25\sum_1^{4} x_{1u} x_{2u} y_u$$

$$b_{11} = 0{,}125\sum_1^{6} x_{1u}^2 y_u + 0{,}0187\sum_1^{2}\sum_1^{6} x_{ju}^2 y_u - 0{,}100\sum_1^{13} y_u;$$

$$b_{22} = 0{,}125\sum_1^{6} x_{2u}^2 y_u + 0{,}0187\sum_1^{2}\sum_1^{6} x_{ju}^2 y_u - 0{,}100\sum_1^{13} y_u;$$

Выводы. При существующей технологии хранения собранного хлопка-сырца с оптимальными значениями влажности *V*, % (x_1) и исходной температуры хранения *T*, °С (x_2) являются, соответственно, значения 10–11% и 20–22°С.

Повышение значений x_1 и x_2 требует применения вентилирования хлопка-сырца при хранении. При значении $x_1 \geq 22\%$ следует организовывать процесс сушки хлопка-сырца (естественным путём – на открытых площадках или искусственно – в специальных сушилках).

В перспективе привлекательным является исследование такого направления, как отделение хлопковолокна непосредственно сразу после сбора хлопка-сырца с помощью мобильных полевых волокноотделителей, чтобы разделить в хлопке-сырце такие компоненты с разными значениями влажности, как само волокно, хлопковые семена (наиболее важный компонент), сор и различные примеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по севу и выращиванию семян хлопчатника под плёнкой / Министерство сельского хозяйства Республики Узбекистан. – Ташкент, 1997. – 36 с.

2. Сніговий В. С. Відродження бавовництва на Україні / В. С. Сніговий. – Херсон : Айпат, 2003. – 172 с.
3. Совершенствование техники и технологии в хлопкоочистительной промышленности / под ред. Н. Д. Соловьева. – М. : Легкая индустрия, 1979. – 276 с.
4. Первичная обработка хлопка / [Г. Д. Джабаров, С. Д. Балтабаев, Д. А. Котов, Н. Д. Соловьев] ; под ред. Н. Д. Соловьева. – М. : Легкая индустрия, 1978. – 430 с.
5. Хлопок-сырец, организация его приемки и хранение / [А. А. Муратов, А. Н. Нуралиев, У. Х. Азизходжаев, Г. А. Тихомиров] ; под ред. профессора И. Т. Максудова. – Книга I. – Ташкент : Мехнат, 1994. – 573 с.
6. Попова Г. Я. Биология развития хлопкового волокна и его технологические свойства / Г. Я. Попова. – Ташкент : Мехнат, 1975. – 432 с.
7. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента / Ю. П. Адлер. – М. : Металлургия, 1969. – 267 с.
8. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер. – М. : Наука, 1971. – 311 с.
9. Тихомиров В. Е. Планирование и анализ эксперимента / В. Е. Тихомиров. – М. : Лёгкая индустрия, 1971. – 263 с.

УДК 631.173.2

Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В.

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Стаття розкриває нові підходи до визначення ефективності вживання в господарствах системи технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарської техніки в процесі її тривалої експлуатації.

Ключові слова: *цикл, технічне обслуговування, ремонт, напрацювання, ефективність, витрати, вартість, експлуатація, відмова.*

Статья раскрывает новые подходы к определению эффективности применения в хозяйствах системы технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники в процессе её длительной эксплуатации.

Ключевые слова: *цикл, техническое обслуживание, ремонт, наработка, эффективность, затраты, стоимость, эксплуатация, отказ.*

The article exposes the new going near determination of efficiency of application in the economies of the system of technical service and repair of agricultural technique in the process of its protracted exploitation.

Key words: *cycle, technical service, repair, work, efficiency, expenses, cost, exploitation, refuse.*

Постановка проблемы. В сложившихся кризисных условиях в работе специализированных ремонтных предприятий возникает необходимость в обосновании целесообразности ремонта сельскохозяйственной техники. Техническое обслуживание (ТО) и ремонт машины экономически целесообразны в пределах оптимальных сроков её службы. Однако при этом не учитывается изменение стоимостной оценки новой машины через промежуток времени, характеризующийся циклами технического обслуживания и ремонта.

Благодаря современным методам практически всегда можно произвести ремонт машины и восстановить её работоспособность. Однако не в каждом случае техническое обслуживание и ремонт целесообразны [1].

Анализ литературы [1–3] показал, что в публикациях имеются ограниченные данные об обосновании эффективного внедрения системы технического обслуживания и ремонта устаревшей сельскохозяйственной техники в современных условиях её эксплуатации, не освещена актуальность её использования.

Цель данной **статьи** заключается в экономическом обосновании эффективности технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники в процессе длительной эксплуатации.

Изложение основного материала. В процессе эксплуатации техника, которая используется в сельском хозяйстве, подлежит периодическому ТО и ремонту с целью её поддержки в работоспособном состоянии.

Действующая планово-предупредительная система технического обслуживания предусматривает проведение профилактических действий после выполнения определённого объёма работ, которые могут задаваться в различных физических единицах: мото-часах, килограммах или литрах израсходованного топлива. Одной из наиболее важных задач инженерно-технической

службы сельскохозяйственных предприятий является планирование объёма работ по техническому обслуживанию машинно-тракторного парка. Для этого проводятся расчёты количества технических обслуживаний и ремонтов тракторов в зависимости от их загруженности на плановый период (год, квартал, месяц).

Существует несколько методов расчёта количества технических обслуживаний тракторов на запланированный период. К одному из них относится метод расчёта количества ТО и ремонтов по циклам. За цикл принимается наработка трактора от начала эксплуатации до капитального ремонта либо от одного капитального ремонта до следующего.

При выполнении расчётов необходимо руководствоваться шкалами чередования видов ТО, текущих ремонтов (ТР) и капитальных ремонтов (КР) тракторов, которые имеют следующий вид для разных групп:

Тракторы группы А	Тракторы группы Б
1112111211121113	11121113
111211121112111ТР	1112111ТР
1112111211121113	11121113
111211121112111ТР	1112111ТР
1112111211121113	11121113
111211121112111КР	1112111КР

ТО и ремонт сельскохозяйственной техники может рассматриваться в двух направлениях (рис. 1):

1) при эксплуатации новой машины до завершения планового срока службы за определённое количество циклов (для тракторов 8 лет – два цикла ТО и ремонта);
2) эксплуатация новой машины до и после завершения планового срока службы (для тракторов более 8 лет – три цикла ТО и ремонта).

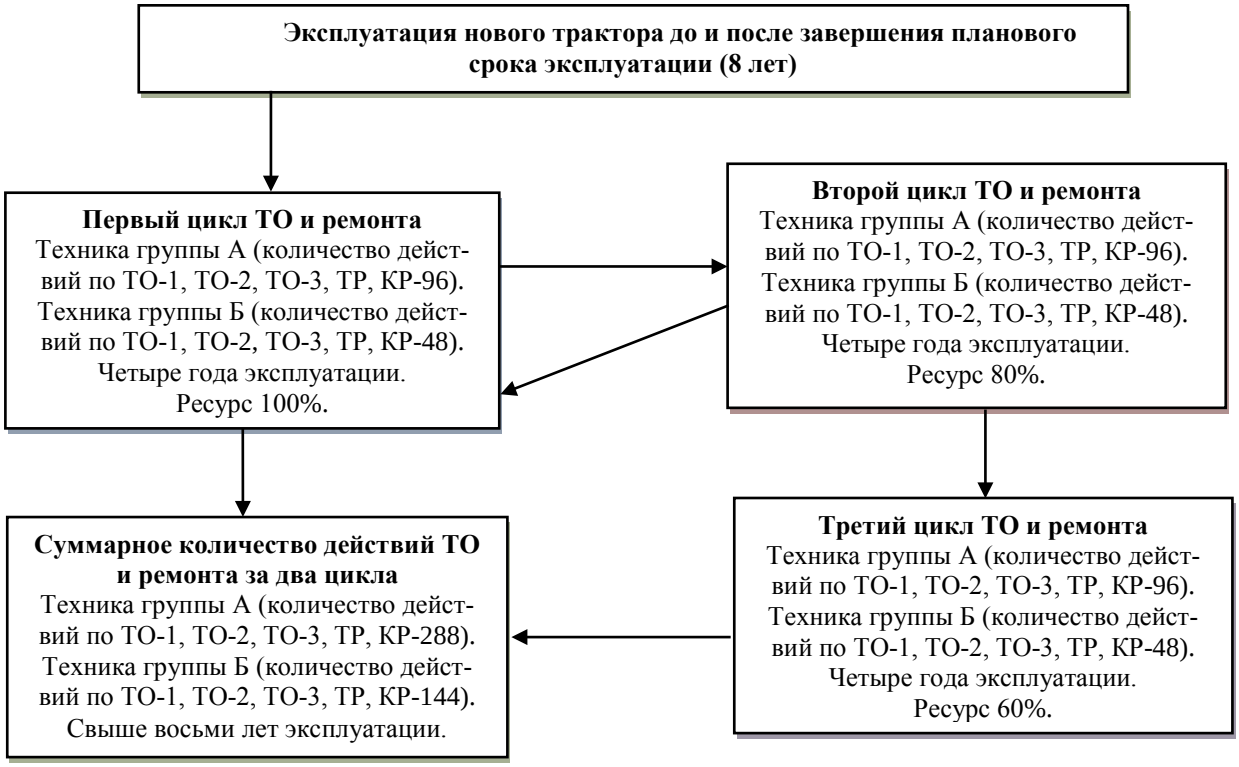

Рис. 1. Классификация количества видов ТО и ремонтов при эксплуатации машины до и после завершения планового срока службы.

Для расчёта экономической целесообразности технического обслуживания и ремонта машины необходимо использовать критерии эффективности ТО, ТР и КР сельскохозяйственных машин.

Расчёт критерия эффективности ТО, ТР и КР сельскохозяйственной техники в специализированных ремонтных предприятиях проводится по формуле [1]:

$$К_{ЭТОиТР} = \frac{С_П + \sum ТО_t + \sum ТР,КР_t}{\sum W_t}, \qquad (1)$$

где $К_{ЭТОиТР}$ – критерий эффективности использования машины за период, предшествующий очередному ремонту, целесообразность которого необходимо рассчитывать в грн. на 1 га, либо в грн. на 1 мото-час;

$С_П$ – первоначальная (балансовая) стоимость машины, грн.;

$\sum ТО_t$ – затраты на техническое обслуживание за период t, грн.;

$\sum ТР,КР_t$ – затраты на текущие и капитальные ремонты за период t, грн.;

$\sum W_t$ – наработка за указанный период, ч, га.

Данная методика расчёта была эффективна в период плановой экономики, когда стоимость работ по устранению последствий отказов оценивали по системе соответствующих межотраслевых нормативов (тарифной ставке ремонтников и т. д.) [2].

Как показывает анализ, в современных условиях общие (удельные) затраты на устранение последствий отказов на основе информации, полученной в реальной эксплуатации, критерий эффективности использования машины целесообразно оценивать с учётом следующих факторов:

- исходной информации, на основании которой рассчитывают среднюю наработку на сложный отказ за определенную контрольную наработку или среднее число сложных отказов за контрольную (расчетную) наработку;
- номенклатуры возникающих сложных отказов и по каждому виду отказов для последующего расчета стоимости запчастей, использованных для его устранения;
- повторяемости отдельных видов отказов для нахождения средневзвешенной стоимости необходимых для устранения одного сложного отказа запчастей и последующего её умножения на среднее число сложных отказов за расчетную наработку.

С учётом этих показателей сумма затрат на техническое обслуживание будет иметь следующий вид:

$$\Sigma ТО_t = Т_р + З_з, \qquad (2)$$

где $Т_р$ – общая трудоемкость работ;
$З_з$ – затраты на приобретение запасных частей и агрегатов.

Так как общие затраты на оплату труда рабочим при проведении ТО отечественных тракторов составляют 0,13 от $С_П$, а средняя стоимость запчастей на устранение отказов 0,0076 × $С_П$, то затраты на техническое обслуживание примут вид:

$$\Sigma ТО_t = 0{,}1376 \times С_П. \qquad (3)$$

Общие затраты на оплату труда рабочим при проведении ТО зарубежных тракторов также составляют 0,13 от $С_П$, а средняя стоимость запчастей на устранение отказов 0,5 × $С_П$, значит, затраты на техническое обслуживание примут вид:

$$\Sigma ТО_t = 0{,}63 \times С_П. \qquad (4)$$

Итак, критерий эффективности $К_{ЭТОиТР}$ использования трактора (К-700А Славич) до первого капитального ремонта за 4 года работы при общей наработке 13 тыс. га и затрат на текущий ремонт 79800 грн., рассчитанный по формуле (1), составит 43 грн./га.

Затраты на капитальный ремонт трактора (К-700А Славич) в специализированном ремонтном предприятии составят 0,3 × $С_П$. С учётом предстоящих затрат на капитальный ремонт критерий эффективности $К_{ЭТОиТР}$ использования трактора в доремонтный период, определяемый по формуле (1), увеличится до величины 53 грн./га.

Наработка после капитального ремонта ориентировочно составит 8 тыс. га. Плановые затраты на ТО при норме 4,2 грн. на 1 га определены в размере 33600 грн. (4,2 грн. × 8000 га). За период до предстоящего капитального ремонта будет выполнено 2 ТР с общими затратами 124320 грн. Общий критерий эффективности $К_{ЭТОиТР2}$ использования трактора за весь период до капитального ремонта, в соответствии с формулой (1), составит 40 грн./га.

В результате за период до второго капитального ремонта эффективность использования трактора повышается на 3 грн. (43 грн. – 40 грн.) на каждый из 21000 га выполненных работ. Таким образом, выполнение первого капитального ремонта и использование трактора до второго капитального ремонта снижает издержки на выполнение механизированных работ на 63 тыс. грн. (3 грн./га × 21000 га), что свидетельствует об экономической целесообразности первого капитального ремонта.

Выполнение второго капитального ремонта обосновывается аналогично первому. При этом затраты на второй капитальный ремонт будут аналогичны первому и составят 126000 грн.; межремонтная наработка до третьего капитального ремонта, исходя из опыта эксплуатации, составит 8 тыс. га, а затраты на 2 последующих ТР возрастут в 1,1 раза и составят 133023 грн. Общий критерий эффективности $К_{ЭТОиТР3}$ использования трактора до третьего капитального ремонта, в соответствии с формулой (1), составит 39 грн./га, то есть второй капитальный ремонт по сравнению с первым изменится в сторону уменьшения затрат на 1 га. Общая экономическая эффективность трактора за весь период наработки до третьего капитального ремонта составит 116000 грн. (4 грн./га × 29000 га).

Однако за межремонтный период между вторым и третьим ремонтом существенно изменяется качество трактора. Оно снижается в связи с износом, что приводит к увеличению ремонтных затрат на единицу наработки:

$$З_Э = \frac{\sum КР_t + \sum ТО_t + \sum ТР_t}{\sum W_t}. \qquad (5)$$

Так, затраты на поддержание трактора в работоспособном состоянии $З_Э$ до первого капитального ремонта на единицу наработки, рассчитанные по формуле (5), составили 10,6 грн./га. После первого и второго капитального

ремонта $З_Э$ составили 35,5 грн./га. После второго до третьего капитального ремонта $З_Э$ составили 36,6 грн./га.

Таким образом, эффективность каждого последующего ремонта снижается, общая же эффективность использования трактора сначала повышается, а затем (между вторым и третьим ремонтом) практически не изменяется. При этом при правильно организованном ТО и ремонте (по данным ГОСНИТИ) происходит увеличение наработки и снижение износа при ТР на 20%, при КР – на 28%. Это подтверждает, что второй и третий КР целесообразно выполнить, если нет возможности приобрести новый трактор.

Целесообразность приобретения в условиях кризиса (за период с 2007 года по 2011 год) новых тракторов можно рассмотреть путём определения критерия эффективности с использованием величины остаточной стоимости в доремонтный и послеремонтный периоды.

Произведём расчёт критерия эффективности ТО ремонта трактора (К-700А Славич) по формулам:

$$К_{ЭТР} = \frac{(x-y)\times С_П + \sum ТО_t + \sum ТР_t}{\sum W_t} \quad (6)$$

и

$$К_{ЭКР} = \frac{(x-y)\times С_П + \sum ТО_t + (\sum ТР_t + \sum КР_t) - (1-(x-y))\times С_П}{\sum W_t}, \quad (7)$$

где x – износ машины за исчисляемый срок службы; для первого текущего ремонта (при 3300 га) К-700А Славич износ составляет 24%, после четырёх лет работы и наработки – 13 тыс. га для первого капитального ремонта износ составит 76,2%, после восьми лет эксплуатации и общей наработки 21580 га износ – 93,3%;

y – показатель снижения износа машины при правильном проведении технического обслуживания и ремонта; для текущего ремонта – 20%, для капитального ремонта – 28%.

Из табл. 1 видно, что после 4–5 лет эксплуатации коэффициент снижения годовой наработки тракторов α практически стабилизируется, что связано со стабилизацией потока отказов [3]. К этому времени многие быстроизнашиваемые и недолговечные детали, как правило, уже были заменены. Причём, при ремонтах были одновременно заменены и более долговечные детали.

Таблица 1.

Коэффициент снижения годовой наработки α.

Срок службы трактора, год	α	Срок службы трактора, год	α
1	1	6	0,83
2	0,93	7	0,82
3	0,88	8	0,82
4	0,84	9	0,81
5	0,83	10	0,81

С учётом коэффициента снижения годовой наработки расчёт критерия эффективности ТО ремонта трактора (К-700А Славич) примет следующий вид:

$$К_{ЭТР} = \frac{(x-y)\times С_П + \sum ТО_t + \sum ТР_t}{\sum W_t \times \alpha}, \quad (8)$$

и

$$К_{ЭКР} = \frac{(x-y)\times С_П + \sum ТО_t + (\sum ТР_t + \sum КР_t) - (1-(x-y))\times С_П}{\sum W_t \times \alpha}. \quad (9)$$

Предельное значение критерия эффективности $К_{ЭТР}$ для новой машины, рассчитанное по формуле (8), в период до первого ремонтного воздействия, то есть текущего ремонта, выполняемого через 3300 га наработки, составит 34,7 грн./га. Этот показатель будет характеризовать качество новой машины и её экономичность.

Определяя показатель экономической целесообразности $К_{ЭКР1}$ первого капитального ремонта по формуле (9), получим его значение равным 22,75 грн./га, то есть $К_{ЭТР} \succ К_{ЭКР1}$, значит, проводить техническое обслуживание и первый капитальный ремонт в течение четырёх лет эксплуатации экономически целесообразно.

Для трактора, прошедшего первый капитальный ремонт, определяем экономическую целесообразность проведения второго цикла до второго капитального ремонта и, в соответствии с формулой (9), получим $К_{ЭКР2}$ равным 36,8 грн./га, то есть при идеальных условиях $К_{ЭТР} \leq К_{ЭКР2}$, а это значит, что при достигаемой наработке проведение второго ремонта является нецелесообразным. Однако за период с 2007 года по 2011 год стоимость нового трактора возросла в среднем на 10–15%, а это значит, что $К_{ЭТР}$ для нового трактора возрастёт на 3,47 грн./га и будет составлять 38,17 грн./га. В результате, если сравнивать новые показатели, то $К_{ЭТР} \succ К_{ЭКР2}$, и, в данном случае, второй капитальный ремонт будет целесообразен.

Подведя итог, эффективность выполнения технического обслуживания за период эксплуатации сельскохозяйственных машин можно выразить следующей формулой:

$$Э_{ТОиКР} = \frac{((С_П \times \gamma) + С_П + (К_{ЭТР} \times \gamma) + К_{ЭТР}) - (С_П + К_{КР\ell})}{(С_П + К_{КР\ell})} \times 100\%, \quad (10)$$

где γ – коэффициент, учитывающий повышение цены на новую машину (за период с 2007 года по 2011 год коэффициент составил 0,1–0,15).

Эффективность выполнения технического обслуживания и ремонта $Э_{ТОиКР1}$ для первого цикла, рассчитанная по формуле (10), составит 10%.

Эффективность выполнения технического обслуживания и ремонта $Э_{ТОиКР2}$ для второго цикла на последующие четыре года, в соответствии с формулой (9), составит 19%.

Выводы. В условиях кризиса, который привёл к постепенному подорожанию сельскохозяйственных машин, целесообразно сохранять уже существующие на базе хозяйства машины со сроком эксплуатации 8–12 лет. Этот процесс экономически обоснован при условии правильного ведения ТО, ТР и КР. Соблюдение всех требований ведёт к сокращению износа и сохранению производительности. При этом эффективность выполнения технического обслуживания и ремонта машины, длительное время находящейся в эксплуатации, возрастает на 9%, по сравнению с затратами на новую машину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конкин Ю. А. Практикум по экономике ремонта сельскохозяйственной техники / Ю. А Конкин. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Агропромиздат, 1988. – 167 с.
2. Тракторы и машины сельскохозяйственные. Определение затрат на устранение последствий отказов. Основные положения: ОСТ 23.1.47-80.
3. Повышение безотказной работы тракторов / [В. М. Забродский, Г. Е. Топилин, С. Г. Стопалов, Е. Г. Тома]. – К. : Урожай, 1985. – 272 с.

РАЗДЕЛ 4. ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ТРУДА И ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 331.45:65.014

Абитова Ш. Ю., Абильтарова Э. Н.

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ

У даній статті розглянуто і проаналізовано стан виробничого травматизму за 2005–2009 роки. Визначено причини нещасних випадків для успішної профілактики травматизму на виробництві.

Ключові слова: *охорона праці, виробничий травматизм, професійне захворювання, причини виробничого травматизму.*

В данной статье рассмотрено и проанализировано состояние производственного травматизма за 2005–2009 годы. Определены причины несчастных случаев для успешной профилактики травматизма на производстве.

Ключевые слова: *охрана труда, производственный травматизм, профессиональное заболевание, причины производственного травматизма.*

In this article considered and analysed the state of production traumatism for 2005–2009. Reasons of accidents are certain for the successful prophylaxis of traumatism on a production.

Key words: *labour protection, production traumatism, professional disease, reasons of production traumatism.*

Постановка проблемы. Охрана труда на конкретном предприятии непосредственно зависит от его экономического состояния, наличия современного оборудования, отвечающего требованиям безопасности, культуры производства, связанной с соблюдением технологической дисциплины и надлежащих условий труда. Систематическое снижение уровня травматизма можно объяснить только значительным спадом производства и несовершенством системы учета несчастных случаев.

Как показывает анализ научно-методической литературы, большинство несчастных случаев происходят по причинам, устранение которых требует не каких-либо материальных затрат, а лишь повышения технологической и трудовой дисциплины, организации выполнения работ в соответствии с требованиями нормативных актов, контроля со стороны непосредственных руководителей, других должностных лиц за соблюдением работниками требований безопасности, а также принятия действенных мер по повышению уровня профессиональной подготовки работников и их обучения по вопросам охраны труда.

Анализ литературы. Конституция Украины провозглашает, что каждый имеет право на труд, на надлежащие, безопасные и здоровые условия труда; каждый работающий имеет право на отдых; граждане имеют право на социальную защиту, включающую право на обеспечение их в случае полной, частичной или временной потери трудоспособности, потери кормильца [6, с. 13–15]. Также следует обратить внимание на Указ Президента Украины «Про невідкладні заходи щодо запобігання виробничого травматизму та професійним захворюванням» от 13 июня 2001 года № 515, где сказано, что обеспечение безопасных и безвредных условий труда на предприятиях, в учреждениях, организациях независимо от формы собственности и видов деятельности, предотвращение производственного травматизма и профессиональных заболеваний является одним из важных направлений реализации социальной политики государства [8].

Данная политика должна осуществляться с соблюдением следующих требований: приоритетности жизни и здоровья работников в процессе производственной деятельности предприятий, учреждений, организаций; полной ответственности работодателей за создание безопасных и безвредных условий труда; комплексного решения задач охраны труда на основе национальной, отраслевых, региональных программ по этому вопросу; усиления социальной защиты работников, которые потерпели от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний; расширения применения экономических методов управления охраной труда; активизации осуществления мероприятий по подготовке кадров по вопросам охраны труда [8].

Кроме того, необходимо отметить, что постановлением Кабинета Министров Украины от 25 августа 2004 года № 1112 вводится в действие порядок расследования и ведения учета несчастных случаев, профессиональных заболеваний и аварий на производстве [7]. На основании

данного документа определятся процедура проведения расследования и ведения учета несчастных случаев, профессиональных заболеваний и аварий, произошедших на предприятиях, в учреждениях и организациях независимо от формы собственности, вида экономической деятельности или в их филиалах, представительствах, других обособленных подразделениях или у физических лиц – предпринимателей, которые в соответствии с законодательством используют наемный труд, а также произошедшими с лицами, которые обеспечивают себя работой самостоятельно, при условии добровольной уплаты ими взносов на государственное социальное страхование от несчастного случая на производстве и профессионального заболевания [7, с. 7].

Исходя из вышеизложенного, можно констатировать, что данными законодательными и нормативно-правовыми актами определяется курс государственной политики относительно приоритета жизни и здоровья работников, предотвращения производственного травматизма и профессиональных заболеваний. Определяющим фактором в этом направлении является анализ причин несчастных случаев на производстве и разработка профилактических мероприятий по их предотвращению.

Цель данной **статьи** – определение причин несчастных случаев для успешной профилактики производственного травматизма.

Изложение основного материала. Общеизвестно, что уровень производственного травматизма меняется в зависимости от финансового и культурного благосостояния общества. В Украине травматизм в 10 раз выше, чем в экономически развитых странах, ежегодно травмируется около 220 тысяч человек. А поэтому изучение социально-культурных и организационных составляющих производственного травматизма является не менее важным, чем внедрение в производство передовых технологий и достижений научно-технического прогресса.

Анализ причин производственного травматизма свидетельствует о том, что основными из них является неудовлетворительная работа служб охраны труда различных уровней, начиная с предприятий и заканчивая местными и центральными органами исполнительной власти, на что прямо указывается в материалах национального совета по вопросам безопасности жизнедеятельности населения Украины (2004).

Акцентируется внимание на том, что соответствующие службы недостаточно уделяют внимания паспортизации производственных объектов на предмет обследования и определения технического состояния строений, сооружений, инженерных сетей, машин и механизмов, транспорта, а также современного их ремонта, запрещения эксплуатации оборудования, производственных помещений, газотранспортных систем и других транспортных средств, которые не отвечают нормативам обеспечения техники безопасности в связи с их износом и аварийным состоянием.

Производственная опасность встречается на каждом этапе производственного процесса – от переработки сырья до утилизации отслужившего свой срок изделия. В узком смысле – это неполадки, сбой и неприемлемые побочные эффекты функционирования технологических систем. В более широком – это результат взаимодействия промышленных систем, работ и окружающей среды в различных комбинациях.

Анализ производственного травматизма позволяет обнаружить причины и определить закономерности их возникновения. Согласно статистическим данным, на производствах Автономной Республики Крым в 2005 году произошло 439 несчастных случаев, в том числе 30 – со смертельным исходом, соответственно, 2006 г. – 453 – 28; 2007 г. – 456 – 28; 2008 г. – 390 – 60; 2009 г. – 299 – 21 (табл. 1). Однако за последнее время (2009 г.) наметилась положительная тенденция к снижению производственного травматизма, в том числе со смертельным исходом, частично это связано со снижением объема производства, а отсюда снижением неблагоприятных производственных факторов.

Таблица 1.

Травматизм, связанный с производством (на 1000 работающих).

	2005	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
Количество потерпевших с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и больше	439	453	456	390	299
в том числе со смертельным исходом	30	28	28	60	21
Количество человеко-дней нетрудоспособности	16869	17639	17605	12600	12922

По мнению большинства авторов [1; 3–5], причины производственного травматизма следует подразделять на следующие группы: организационные, технические, санитарно-гигиенические, психофизиологические.

Так, к организационным причинам относят отсутствие или некачественное проведение обучения вопросам охраны труда; отсутствие контроля за состоянием охраны труда; нарушение требований инструкций, правил, норм, стандар-

тов по охране труда; нарушение технологических регламентов; нарушение правил эксплуатации оборудования; использование оборудования не по назначению; нарушение режима труда и отдыха; неправильная расстановка рабочей силы и т. д.

В то же время техническими причинами производственного травматизма являются неисправность производственного оборудования механизмов, машин; несовершенство технологических процессов; конструктивные недостатки оборудования; отсутствие защитных заграждений; неисправность электропроводки, недостатки в освещении, вентиляции, отоплении, шум, вибрация.

Большую степень в развитии различных профессиональных заболеваний занимают санитарно-гигиенические причины, к которым относят повышенное (выше предельно допустимой концентрации) содержание в воздухе рабочих зон вредных веществ; недостаточное или нерациональное освещение; повышенные уровни шума, вибрации; наличие разнообразных излучений на рабочем месте выше допустимых значений; неудовлетворительные микроклиматические условия; нарушение правил личной гигиены [4, с. 83].

Некоторые ученые считают, что определяющим фактором в возникновении производственных травм являются причины психофизиологического характера, а именно: ошибочные действия вследствие усталости работника, монотонность и напряженность труда, болезненное состояние работника, неосторожность; несоответствие психофизиологических данных работника используемой технике или выполняемой работе; неблагоприятный психологический климат в коллективе [1; 4].

Кроме того, в последних публикациях встречаются данные относительно существования причин личностного характера (недисциплинированность работников, невыполнение указаний, распоряжений администрации, нарушение требований инструкции по охране труда, самовольное нарушение технологического процесса), а также причин, имеющих экономическую почву – нерегулярная выплата заработной платы, низкий заработок, неритмичность работы, работа по совместительству или на двух разных предприятиях [5].

Анализ общего и смертельного травматизма, связанного с производством показывает, что основными причинами, вследствие которых погибают люди на производстве, являются организационные.

Данные Государственного комитета статистики Украины (рис. 1) свидетельствуют о том, что по техническим причинам получили травмы в 2005 году 15,8% работающих, из них 2,4% – из-за несовершенства средств производства, 3,4% – из-за несоответствия требованиям безопасности технологического процесса, 6,3% – из-за неудовлетворительного технического состояния производственных объектов, зданий, сооружений, 3,7% случаев приходится на другие технические причины. Аналогичные данные наблюдаются и в последующий период: 2006, 2007 и 2008 годах. Количество потерпевших по этим причинам составляло, соответственно: 15,8%, 14,9% и 15% [2].

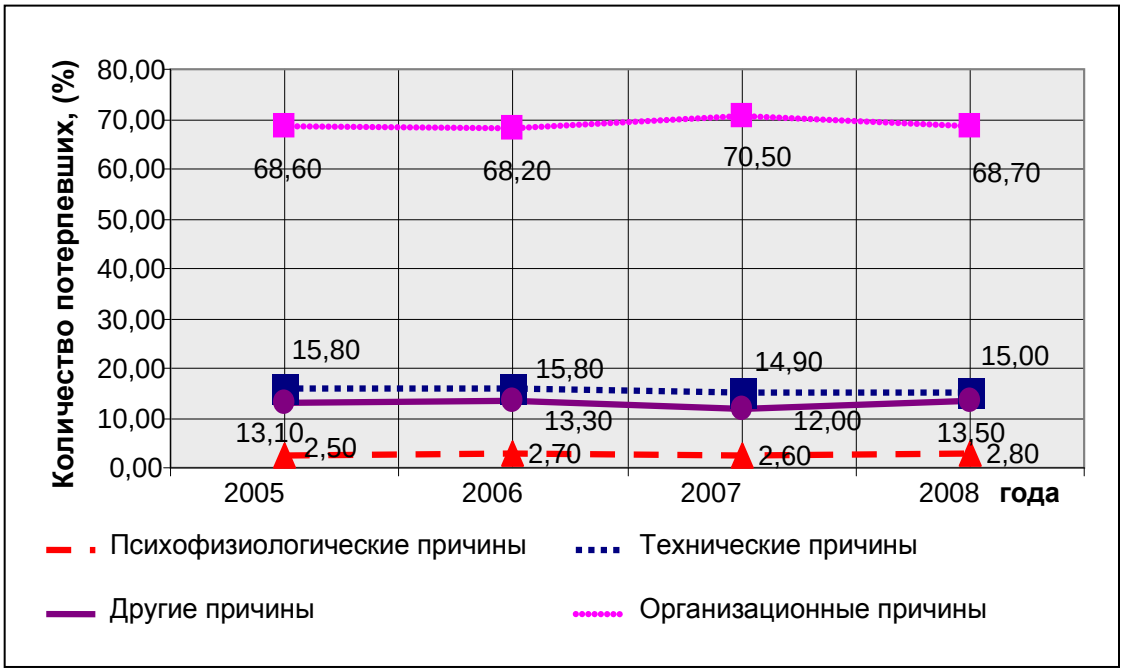

Рис. 1. Динамика производственного травматизма по причинам возникновения.

Из-за нарушения технологического процесса количество потерпевших в 2005 году составляло 9,5%; из-за нарушения требований безопасности во время эксплуатации оборудования, машин, механизмов пострадало 16,4% работающих; из-за нарушения трудовой и производственной дисциплины – 17%, по другим организационным причинам – 15,2%. В общем, количество потерпевших из-за организационных причин за 2005 год составило 68,6%. Количество потерпевших за последующие годы (2006, 2007 и 2008) составило 68,2%, 70,5% и 68,7%. Пострадавших из-за алкогольного, наркотического опьянения и токсикологического отравления составило, соответственно 2,5%, 2,7%, 2,6% и 2,8%; от 12% до 13,5% приходится на другие причины (без технических, организационных и психофизиологических причин).

Уровень травматизма на производстве зависит от состояния основных средств, а их степень износа в некоторых отраслях составляет более 50%.

По мнению иностранных специалистов, которые работали по программе МОТ в Украине, в том числе и в Крыму, большое количество несчастных случаев со смертельным исходом объясняется следующими причинами [5, с. 19–20]:

- неудовлетворительной подготовкой рабочих и работодателей по вопросам охраны труда;
- отсутствием надлежащего контроля за состоянием безопасности на рабочих местах и выполнением установленных норм;
- недостаточным обеспечением работающих средствами индивидуальной защиты;
- медленным внедрением средств и приборов коллективной безопасности на предприятиях;
- изношенностью (в некоторых отраслях до 80%) средств производства.

Расходы, связанные с несчастными случаями, составляют значительную сумму. Так в развитых европейских странах каждый случай производственного травматизма обходится приблизительно в 500–1000 швейцарских франков в день, а на Украине 950 гривен в расчете на одного потерпевшего [5, с. 20].

Правильное определение причин несчастных случаев имеет большое значение для профилактики производственного травматизма, так как причины служат исходными данными не только для разработки мероприятий по устранению последствий конкретных несчастных случаев, но и для предотвращения несчастных случаев вообще и улучшения безопасности труда в частности.

Таким образом, чем раньше будет осознана и распознана назревающая производственная опасность – тем более безопасными станут условия труда, и именно это является ключевым фактором профилактики травматизма на рабочих местах промышленных предприятий.

Выводы. Деятельность правительства стран ЕС, системы страхования от несчастных случаев и многие другие меры подчинены одной цели – добиться снижения потерь экономики, связанных с несчастными случаями на производстве и профессиональными заболеваниями. Проведенная работа дала положительные плоды, потери были уменьшены за последние шесть лет с 4% до 3% ВВП. Это убедительное доказательство того, что улучшение условий труда может приносить значительный экономический эффект.

Практика показывает, что капиталовложения в охрану труда, особенно на производстве, связанном с вредными и опасными условиями труда, и при достаточной организации системы управления охраной труда, могут приносить прибыль предприятиям, не говоря уже об обществе в целом. Лучше и дешевле предотвратить производственную травму или профессиональное заболевание, чем выплачивать пострадавшему на производстве различные социальные выплаты и компенсации. Финансирование мероприятий по охране труда, профилактика несчастных случаев – путь к здоровью работников, к созданию безопасных и здоровых условий труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гогіташвілі Г. Г. Основи охорони праці : навч. посібник / Г. Г. Гогіташвілі, В. М. Лапін. – [4-те вид., випр. і доп.]. – К. : Знання, 2008. – 302 с.
2. Государственный комитет статистики Украины. Статистический бюллетень «Травматизм на производстве в 2009 году». – К., 2010.
3. Грищук М. В. Основи охорони праці : підручник / М. В. Грищук. – К. : Кондор, 2005. – 240 с.
4. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник / В. Ц. Жидецький. – [вид. 3-є, перероб. і доп.]. – Львів : УАД, 2006. – 336 с.
5. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник / В. Ц. Жидецький. – [вид. 3-є, перероб. і доп.]. – Львів : УАД, 2010. – 390 с.
6. Конституция Украины. – Харьков : Одиссей, 2011. – 56 с.
7. Порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві : НПАОП 0.00-6.02-04 : затв. постановою Кабінету Міністрів України від 25.08.2004 р. // Законодавство України про охорону праці : у 3 т. – К. : Основа, 2008. – Т. 2. – С. 5–85.
8. Указ Президента України «Про невідкладні заходи щодо запобігання виробничого травматизму та професійним захворюванням» від 13 липня 2001 року № 515 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?user=l85037.

УДК 504.064:628.3

Кулалаєва Н. В., Михайлюк В. О.

ІНЖЕНЕРНІ ПІДХОДИ ДО ЗНИЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ГІДРОСФЕРИ НАФТОПРОДУКТАМИ ПЕРЕСУВНИМИ ЗАСОБАМИ

Проаналізовано сучасний стан забруднення гідросфери нафтопродуктами. Виявлено необхідність зниження прогресуючої тенденції зростання кількості надходження нафтопродуктів до водних об'єктів з транспортних засобів. Запропоновано сучасну комплексну технологічну схему пересувної станції очищення нафтовмісних вод. Наведено прямий ефект під час її використання на несамохідному плавучому об'єкті.

Ключові слова: *гідросфера, нафтопродукти, нафтовмісні води, технологія очищення, фільтрування, коалесценція, сорбція, поліелектроліти, організоване середовище, транспортні засоби.*

Проанализировано современное состояние загрязнения гидросферы нефтепродуктами. Выявлена необходимость снижения прогрессирующей тенденции роста количества нефтепродуктов, поступающих в водные объекты с транспортных средств. Предложено современную комплексную технологическую схему передвижной станции очистки нефтесодержащих вод. Показан прямой эффект ее использования на несамоходном плавучем объекте.

Ключевые слова: *гидросфера, нефтепродукты, нефтесодержащие воды, технология очистки, фильтрация, коалесценция, сорбция, полиэлектролиты, организованная среда, транспортные средства.*

The current state of the oil pollution of the hydrosphere was analysed. The necessity of reducing of the progressive upward trend in the number of oil products penetrating into the water from the vehicles was identified. Modern complex technological scheme of the mobile station purification of oily waters was suggested. The direct effect of its use in non-self-propelled floating facility was shown.

Key words: *hydrosphere, oil products, oily water, the purification technology, the filtration technology, coalescence, sorption, polyelectrolyte, organize solvent, transportation facilities.*

Постановка проблеми. Україна посідає одне з останніх місць серед країн Європи за запасами та якістю води. За даними Держводгоспу, сумарна величина доступних для використання запасів річкових вод в Україні складає близько 88 млрд. м^3. З них на території країни формується лише 52 млрд. м^3. У маловодні роки ці запаси значно менші і складають відповідно 56 і 32 млрд. м^3. Це означає, що на одного мешканця країни припадає близько 1000 м^3 річкового стоку. За визначенням Європейської економічної комісії ООН, держава, власні водні ресурси якої не перевищують 1700 м^3 на 1 особу, вважається водонезабезпеченою. Для порівняння: у Франції забезпеченість водою однієї людини складає 4570 м^3/рік, у Швейцарії – 7280 м^3/рік, в Австрії – 7700 м^3/рік, у Швеції – 24000 м^3/рік. Не зважаючи на це, водні ресурси в Україні використовуються нераціонально, продовжується їхнє забруднення і у значному ступені нафтопродуктами (НП) [1].

Взагалі, збільшення кількості споживаної води приводить до зростання ступеня забрудненості басейнів, оскільки близько 90% вилученої з водоймищ води повертається назад у вигляді стічних вод. За обсягами забору і використання свіжої води найбільшим споживачем в Україні є промисловість, на яку припадає близько 45% загального водоспоживання [2]. Основними причинами забруднення поверхневих вод України НП є скидання неочищених та недостатньо очищених промислових, транспортних, комунально-побутових і сільськогосподарських стоків у водні об'єкти безпосередньо та через системи каналізації. До найнебезпечніших і розповсюджених речовин, які забруднюють гідросферу належать нафта та продукти її переробки – бензин, гас, мазут, дизельне паливо, мастила та ін. Статистичні дані свідчать про прогресуюче забруднення ними гідросфери [3].

Соціально-екологічні проблеми, які виникають у зв'язку з нафтовим забрудненням акваторій, широко відомі [4]. У першу чергу, це те, що безпосередньо пов'язане з небезпечною життєдіяльністю людини – порушення розвитку біоценозу водойм. Причому, негативний вплив НП визначається не тільки токсичністю останніх при надходженні до водного середовища (хоча практично всі компоненти нафти – токсичні для водних організмів), але й зміною кисневого балансу при утворенні тонкої плівки, яка розповсюджується на значні площі. В таких умовах гине тваринний та рослинний світ, змінюється співвідношення біологічних видів, зменшується їхня різноманітність. По-друге, вуглеводнями нафтової плівки живляться мікроорганізми, що розвиваються на ній у великій кількості і біомаса яких є отруйною для багатьох мешканців во-

дних басейнів. По-третє, у НП є здатність поглинати та розчиняти в собі інші забруднюючі речовини (пестициди, важкі метали, синтетичні поверхнево-активні речовини), несприятливі для біоти водного середовища. Разом з НП вони концентруються у приповерхневих шарах водоймищ і є ще більшою небезпекою за рахунок інтенсивного накопичення в головному мозку, печінці та репродуктивних органах риб, ссавців, морських птахів завдяки підвищеній розчинності в жирах. До того ж, такі забруднювачі сповільнюють розкладання НП у природних умовах. По-четверте, ароматична фракція нафти містить речовини мутагенного та канцерогенного впливу (наприклад, бензапирен), які активно циркулюють живильними ланцюгами водних мешканців, звідки можливо їхнє потрапляння у їжу людей. Якщо ж взяти до уваги ще й вплив інших забруднюючих компонентів, стає очевидним, що гідросфера може згодом стати непридатною як для існування біоти, так і для використання людиною [5].

Наявність НП у природних і стічних водах суворо регламентується санітарними нормами гранично допустимих концентрацій (ГДК), які становлять для вод рибогосподарських водойм величину 0,05 мг/дм^3, для господарсько-питного та культурно-побутового користування – 0,3 мг/дм^3. І все ж таки, вони продовжують надходити у водойми в емульгованому, колоїдному та розчиненому станах, в широкому діапазоні розмірів частинок і концентрацій, оскільки суб’єкти господарювання, хто за браком ефективних технологій очищення виробничих стічних вод та утилізації осадів, а хто «заощаджуючи» кошти на їхнє створення, скидають у водойми висококонцентровані стічні води через систему централізованої каналізації.

Сучасна небезпечна екологічна ситуація в Україні формувалась протягом тривалого періоду внаслідок, по-перше, переважного розвитку сировинно-видобувних, найбільш екологічно небезпечних галузей промисловості, по-друге, впровадження та нарощування ресурсомістких та енергоємних технологій, створення яких здійснювалося найбільш «дешевим» способом – без будівництва відповідних очисних споруд. Ці та інші фактори, зокрема низький рівень екологічної свідомості суспільства, призвели до значної деградації довкілля України, надмірного забруднення поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря і земель [1]. Зупинити або хоча б знизити тенденцію зростання кількості надходження НП до водних басейнів є актуальним завданням сучасності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання впровадження екобезпечних та енергозберігаючих технологій, економії енергоресурсів стають найактуальнішими у зв'язку зі значним зростанням енергоспоживання і постійним збільшенням цін на енергоносії (зокрема, на НП). Одночасно жорсткішують вимоги, що стосуються охорони навколишнього середовища і запобігання забруднення його шкідливими речовинами, зокрема нафтопродуктами. Склад і концентрація НП, які містяться в промислових стічних водах, визначаються типом виробництва. Так, в стічних водах, що скидаються на загальнозаводські очисні споруди підприємств машинобудівної галузі, міститься від 0,003 до 0,8 кг/м^3 різних олієподібних домішок. Нафтопродуктами забруднені стічні води теплоелектростанцій (ТЕС), автогосподарств, нафтосховищ, великих автозаправних станцій (АЗС), складів паливо мастильних матеріалів (ПММ) та ін. Нижче наведено характеристику виробничих стічних вод деяких основних галузей економіки, що містять підвищені концентрації НП [6].

Залізничний транспорт – зміст зважених речовин у стічних водах складає 400 мг/л, НП – 7500 мг/л, фенолів – 50 мг/л.

Електроенергетика – кількість зважених речовин в стічних водах – 175 мг/л, НП – 1,1 мг/л, заліза – 2,5 мг/л, ванадію – 0,6 мг/л.

Авторемонтні підприємства – зміст зважених речовин у стічних водах досягає до 10600 мг/л, НП – 20 мг/л, залізо – 53 мг/л, тетраетілсвінець – 15 мг/л.

Морські порти – в стоках переважають зважені речовини з вмістом до 300–500 мг/л, НП і миючі речовини – до 10 мг/л, залізо – 2 мг/л. До речі, стосовно морського транспорту, обов'язкові до виконання правила щодо запобігання і мінімізації забруднення ним гідросфери НП з баласними та л'яльними водами наведені у Додатку 1 Конвенції МАРПОЛ 73/78. Вони потребують облаштування суден ємностями ізольованого баласту, щоб не змішувати його з НП, і відвантаження всіх забруднених НП вод на відповідні приймальні споруди. Одним з розповсюджених видів таких споруд є плавучі нафтозбірники. Обладнання, що там встановлюють, дозволяє скидати у гідросферу воду, якість якої після обробки відповідає вимогам нормативних документів.

Щодо інших суб’єктів-забруднювачів, то пересувні засоби очищення нафтовмісними водами (НВВ) до них ще не дійшли, хоча, на нашу думку, час давно настав. Особливо це стосується об’єктів малого бізнесу, більшість яких не мають змоги (за фінансовим станом) забезпечити якісне очищення своїх відносно невеликих кількостей НВВ самотужки. Тому, вважаємо, що спеціалізовані очисні пристрої (системи), вста-

новлені на автомобільних причепах, залізничних платформах тільки сприяли б рішенню проблеми запобігання забруднення навколишнього середовища нафтопродуктами,

У цьому зв'язку основне завдання вчених, дослідників, інженерів-конструкторів і технологів щодо зниження антропогенного впливу на довкілля, спричиненого НВВ об’єктів господарювання, полягає як у підвищенні очисних і ресурсних характеристик технологічних схем оброблення НВВ, так і розвиненні пересувних засобів оброблення їхніх нафтовмісних стоків. Більш того, враховуючи практично повсюдну відсутність якісних стаціонарних систем очищення НВВ об’єктів малого бізнесу, це стає очевидною необхідністю. У пересувних технологічних системах НВВ для очищення небезпечних стоків, останні можуть піддаватися впливу гравітаційних, відцентрових, поверхневих та інших сил [7].

Аналіз найбільш широко розповсюджених у світовій практиці способів обробки НВВ і багаторічні дослідження в даній області, виконані авторами, свідчить про перспективність застосування в технологічних схемах очищення гравітації, силового поділу, коалесценції, флокуляції, фільтрації, сорбції [8; 9]. При цьому досягнення ефективності під час експлуатації таких систем обумовлено дотриманням певних умов і, насамперед, усуненням диспергування нафтових частинок (НЧ), відокремлюваних на певній стадії очищення. На практиці виконання даної вимоги здійснюється шляхом забезпечення оптимальних швидкостей переміщення НВВ у робочих елементах (пристроях) технологічної схеми на відповідній стадії очищення, створення організованого середовища у міжфазових граничних шарах коалесцентів та організації своєчасного видалення максимально можливої кількості відділеного НП із очисного циклу.

Виклад основного матеріалу. Особливе місце серед способів, що застосовуються для очищення НВВ, посідає коалесценція. Це зрозуміло, оскільки пристрої, що реалізують останню, мають істотні позитивні властивості, а саме: високу ефективність поділу та питому перепускну здатність, стійкість технологічного процесу при значних коливаннях концентрації НП і витрати НВВ, зручність виготовлення, експлуатації та автоматизації, тривалим міжрегенераційним періодом. Більш того, коалесценція ставиться до регенеративних методів, тому що з її допомогою НВВ поділяють на дві фази, однією з яких є НП. У той же час, властива коалесценції ступневість реалізації негативно впливає на якість дисперсної фази НВВ (генеруються дрібнодисперсні НЧ).

Але досягнення позитивного ефекту можливе, якщо об'єднати фізико-хімічні процеси коалесценції і флокуляції, що відбуваються на нанорівні, тобто сформувати організоване середовище у міжфазних граничних шарах коалесцентів. Для цього поверхні коалесціюючих елементів (КЕ) було модифіковано катіонним поліелектролітом-флокулянтом ВПК-402. Присутність молекул ВПК-402 на коалесціюючий поверхні КЕ змінює структуру приповерхнього шару води, перетворюючи її на більш «пухкий» [7]. Тому розривання водяної плівки, що випереджає власне коалесценцію НЧ, трансформується в розтікання, внаслідок чого не утворюється ударна хвиля розклінюючого тиску, який саме і провокує дроблення коалесціюючої НЧ.

Таким чином, знижуються негативні наслідки явища ступневості коалесценції. Більш того, перетворення розривання плівки води в її розтікання знижує величину енергії, необхідної НЧ, щоб наблизитися до поверхні КЕ для подальшої коалесценції. Тому кількість НЧ, здатних перебороти знижений расклінюючий тиск збільшується, підвищуючи в цілому ймовірність коалесценції, тобто ефективність очищення НВВ. З огляду ж на те, що характерною властивістю високомолекулярних сполук даного класу (наприклад, поліелектроліту ВПК-402) є їхня незворотна адсорбція на міжфазній поверхні носія, маємо повні підстави стверджувати про перспективність успішного застосування даної нанотехнології на практиці. Більш того, експериментальні дослідження сорбції поліелектролітів, виконані авторами на перспективних коалесціюючих носіях, підтвердили коректність наведеного вище [7].

Результатом досліджень з'явилося створення спочатку фільтрувально-коалесціюючого пристрою для очищення нафтовмісних вод, а на його підґрунті – системи очищення НВВ, однією з особливостей якої є 3-х стадійність реалізації очисного процесу. У розробленій авторами комплексній технологічній схемі станції очищення нафтовмісних вод розміщеній на несамохідному судні БН-40 розділення НВВ реалізується під час проходження НВВ через сепаратор грубого очищення, де відбувається гравітаційний відстій та коалесценція (первинне очищення), далі фільтрувально-коалесціюючий пристрій (фінішне очищення) і сорбційний фільтр (глибоке очищення).

Принципову схему станції подано на рис. 1. Станція розміщується на верхній палубі судна, під надбудовою. До її складу включено також насос, що перекачує НВВ, насос дозування поліелектроліту, щит автоматики і запірно-регулююча арматура.

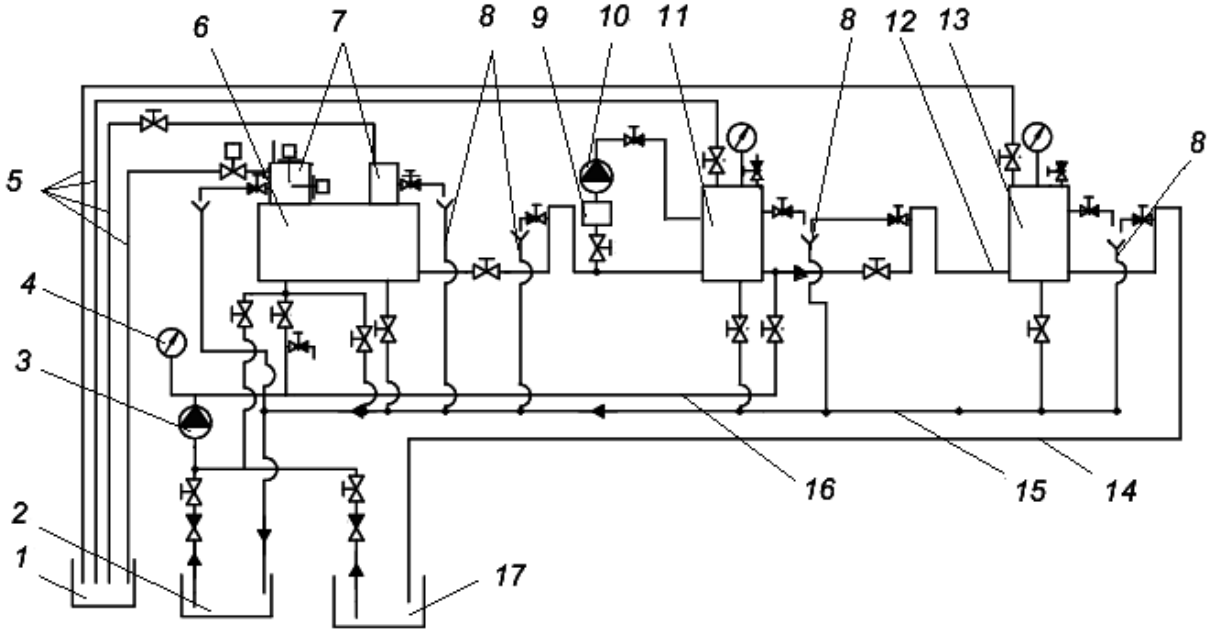

Рис. 1. Принципова схема технології очищення нафтовмісних вод:
1 – цистерна для збирання відсепарованих НП; 2 – цистерна НВВ; 3 – насос; 4 – манометр; 5 – трубопровід відсепарованих НП; 6 – сепаратор грубого очищення; 7 – нафтозбірник; 8 – система пробовідбору; 9 – ємність з флокулянтом; 10 – дозувальний насос; 11 – фільтр тонкого очищення; 12 – трубопровід нафтовмісної води; 13 – фільтр сорбційний; 14 – трубопровід очищеної води; 15 – трубопровід осушення сепаратора, фільтрів та зливів від пробовідбірників;16 – трубопровід промивочної води; 17 – цистерна очищеної води.

Станція працює в такий спосіб. НВВ із збірної цистерни НВВ 2, подається насосом 3 в першу відстійну порожнину сепаратора грубого очищення 6. Тут (у холодну пору року) вона підігрівається до температури 60°С. За рахунок різниці густини води та НП НЧ спливають у нафтозбірник 7, де відбувається поступове накопичення шару НП. Зібраний НП під тиском потоку НВВ спрямовується в цистерну 1 відсепарованого НП. Концентрація води у відсепарованому НП становить не більше 20%, що, в основному, залежить від його складу. НВВ, звільнена від найбільш крупно дисперсної фракції НП, обгинає перегородку (на схемі не показана) та надходить у порожнину коалесціюючого завантаження сепаратора. При її проходженні крізь шар коалесціюючого завантаження відбувається укрупнення дрібних НЧ, за рахунок чого вони отримують високу здатність до сплиття.

При подальшому огинанні НВВ наступної каскадної перегородки (на схемі не показана) відбувається осадження таких НЧ у нафтозбірник 7 другої відстійної порожнини. Накопичений у нафтозбірнику 7 НП зливається в цистерну 1 відсепарованих НП.

Наступна стадія очищення НВВ відбувається у фільтрі 11 тонкого очищення з полімерним матеріалом, який має розмір гранул 0,3–1,5 мм. Такі гранули утворюють пористу структуру з розміром каналів біля 0,1–0,5 мм. Пористий матеріал, попередньо оброблений за спеціальною технологією флокулянтом, що на нанорівні впливає на здатність дрібних НЧ коалесціювати з матеріалом завантаження. Флокулянт із ємності 9, дозувальним насосом 10 подається в трубопровід, який з'єднує сепаратор 6 і фільтр 11 тонкого очищення.

Після фільтра 11 тонкого очищення НВВ надходить у сорбційний фільтр 13, де сорбуються розчинені фракції НП. Далі очищена вода спрямовується у відповідну цистерну 17.

Сепаратор 6 забезпечує видалення з НВВ грубодисперсної фази нафтопродуктів до 100 %, і, крім того, основної кількості механічних домішок. Подання поліелектроліту у фільтр 11 фінішного очищення після його регенерації забезпечується дозувальним насосом 10. У сорбційному фільтрі 13, який завантажено крупно гранульованим природним цеолітом, відбувається остаточне очищення ВНЕ від розчинених фракцій НП. Цей матеріал відрізняється високою здатністю сорбувати розчинену частину нафтопродукту.

Особливу увагу слід звернути на процеси, що відбуваються на другій стадії, оскільки від неї визначально залежить і якість очищення і ресурсні характеристики завантажень фільтрувальних пристроїв. Справа в тім, що специфічні особливості перебігу процесу коалесценції, такі як ступеневість, пружне розсіювання та броу-

нівська дифузія ускладнюють видалення НЧ на двох останніх стадіях. Внаслідок цього певна кількість НЧ не коалесціює, і додатково подрібнюється. Ефективним шляхом для позбавлення вказаних недоліків є створення організованого середовища в міжфазних граничних шарах коалесцентів завдяки застосуванню поліелектролітів (ПЕ). Наявність останніх на поверхні коалесценту спричиняє різку зміну діелектричної проникності, мікров'язкості, мікрополярності та інших фізико-хімічних властивостей граничного шару дисперсійного середовища [10], що дозволяє в значній мірі позбутися вказаних недоліків.

Для вирішення поставленої задачі було проведено значну кількість експериментів за яких визначено характеристики перспективних завантажувальних матеріалів фільтрів та застосовуваних ПЕ. Найбільш ефективними у якості навантаження виявилися залишкові відходи виробництва катіоніту КУ–2–8 та поліелектроліт ВПК–402. Формування поблизу коалесціюючої поверхні завантаження організованого середовища здійснювалося шляхом модифікування його ПЕ, для чого було розроблено відповідну методику.

Необхідність даного заходу полягає в тому, що в міжфазному граничному шарі коалесцента відбувається значна турбулізація потоку НВВ, що призводить спочатку до зміни форми НЧ, – вона гантелеподібно витягається, а потім і руйнується. При цьому відбувається розривання водяної плівки, яке супроводжується виникненням ударних хвиль, під впливом яких від НЧ відокремлюється вторинна (з дрібними сателітними НЧ) частинка менших розмірів. Остання, у свою чергу, може коалесціювати з утворенням третинної частинки і т. д. Спостерігається до восьми стадій коалесценції, на кожній з яких також послідовно генеруються дрібні сателітні НЧ. Подальше видалення таких НЧ із НВВ досить складне, оскільки зі зменшенням розмірів НЧ збільшуються їхні сили поверхневого натягу, котрі перешкоджають коалесценції.

Наявність організованого середовища у міжфазних граничних шарах завантаження сприяє детурбулізації збуреного потоку НВВ відбувається згладжування (загасання) пульсацій швидкостей дисперсійного середовища. Крім того, фрагменти ПЕ безпосередньо впливають на зміну структури приповерхнього шару води, перетворюючи його, як вказувалося раніше, в більш «пухкий», приймаючи частину водневих зв’язків молекул води на себе [2]. При цьому зменшуються негативні наслідки явища ступеневості коалесценції, за рахунок чого підвищується ймовірність коалесценції в цілому.

Висновки. Запропонована система очищення НВВ відзначається високою очисною здатністю, а очікуваний прямий економічний ефект при застосуванні ПЕ у штатному режимі роботи устаткування складе 72 тис. грн. на рік (47 тис. грн. – при відсутності ПЕ) за рахунок запобігання забрудненню довкілля та скорочення капітальних витрат на виготовлення очисних систем та їх елементів.

Подана технологічна схема очищення дозволяє провести комплексну обробку НВВ, включаючи всі стадії очищення, а завдяки своїм привабливим габаритам, що надають можливість її розташування на пересувних засобах (причепах автомобілів, залізничних платформах, плавучих баржах тощо), є перспективною для використання з метою запобігання забрудненню водного басейну.

ЛІТЕРАТУРА

1. Постанова Верховної Ради України № 565-IV від 20.02.2003 р. – К., 2003.
2. Кулалаева Н. В. Соціально-економічні аспекти доцільності запобігання надходження нафтопродуктів у гідросферу / Н. В.Кулалаева, В. А. Михайлюк, О. А. Мармазинський // Збірник наукових праць НПУ-ХПІ. – Харків : НПУ, 2008. – № 4. – С. 84–98.
3. Екологія та природні багатства України: Загальноукраїнський проект. Випуск 2. – К. : Новий світ, 2004. – 416 с.
4. Зуб С. Ю. О загрязнении моря с судов и о возможности завоза холеры морским транспортом / С. Ю. Зуб, А. П. Кузнецов // Судоходство. – 2004. – № 1. – С. 58–59.
5. Миронов О. Г. Потоки нефтяных углеводородов через морские организмы / О. Г. Миронов // Морской экологический журнал. –2006. – Т. V, № 2. – С. 5–14.
6. Правила приймання стічних вод у комунальній та відомчій системі каналізації міст і сіл України: Наказ Держбуду України від 19.02.02 р. № 37.
7. Кулалаева Н. В. Интенсификация нелинейных разделительных эффектов в системах глубокой очистки технологических нефтесодержащих вод / Н. В. Кулалаева, В. А. Михайлюк // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 29, № 5. – С. 462–471.
8. Кулалаева Н. В. Исследование физико-химических закономерностей очистки технологических нефтесодержащих вод / Н. В. Кулалаева // Химия и технология воды. – 2006. – Т. 28, № 4. – С. 380–393.
9. Sutherland K. Water filtration: Bulk water filtration techniques / Ken Sutherland // Filtration+Separation. – 2008. – December. – P. 17–19.
10. Штыков С. Н. Организованные среды – мир жидких наносистем / С. Н. Штыков // Природа. – 2009. – № 7. – С. 9–14.

РАЗДЕЛ 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 519.81

Сироджа И. Б., Постернакова В. А., Сейдаметов Г. С.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ СРЕДСТВАМИ ИНЖЕНЕРИИ КВАНТОВ ЗНАНИЙ В УСЛОВИЯХ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОСТИ И НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Здійснено розвиток методології комплексного вирішення проблеми прийняття рішень за умов багатокритеріальності та невизначеностей даних деяких класів на основі використання інтелектуальних моделей і методів інженерії квантів знань (ІКЗ).

Ключові слова: *багатокритеріальна оптимізація, інженерія квантів знань, функція корисності, інтервальна невизначеність, прийняття рішень.*

Осуществлено развитие методологии комплексного решения проблемы принятия решений в условиях многокритериальности и неопределённостей данных фиксированных классов на основе использования интеллектуальных моделей и методов инженерии квантов знаний (ИКЗ).

Ключевые слова: *многокритериальная оптимизация, инженерия квантов знаний, функция полезности, интервальная неопределённость, принятие решений.*

Development of methodology of a complex solution of a problem of decision making in conditions multi-objective optimization and uncertainties of the data fixed classes on the basis of use of intellectual models and methods of engineering of quantum engineering knowledge is carried out.

Key words: *multi-objective optimization, quantum engineering knowledge, utility function, interval uncertainty, decision making.*

Постановка проблемы. *Принятие решений* является обязательным и неотъемлемым проблемным этапом человеческой деятельности. Независимо от содержательной постановки проблему принятия решений можно представить в виде последовательности следующих задач: задание и анализ цели; формирование множества Z *допустимых* решений; выбор и обоснование системы оценок для установления на множестве Z отношения порядка (*задача оценивания*); определение наилучшего решения $z^* \in Z$ (*задача оптимизации*).

Естественно, что любой *субъект, принимающий решения* (СПР), заинтересован в их эффективности. Принятие неэффективных решений в жизненных и производственных ситуациях приводит к неоправданной потере значительной доли возможностей и ресурсов. По определению академика В. М. Глушкова [1], необходимыми условиями *эффективности* решений является их *полнота*, *своевременность* и *оптимальность*. По сути, указанные требования противоречивы. Стремление их удовлетворить приводит к серьезным методологическим и вычислительным трудностям. В частности, стремление к *полноте* (*комплексности*) решений ведёт к необходимости более полного учета внутренних и внешних факторов, влияющих на принятие решения, что увеличивает рост размерности задачи принятия решений и делает её *многокритериальной*. Кроме этого, обеспечение *полноты* решений вызывает возрастание *неопределённости*, обусловленной неполнотой знаний, плохой изученностью взаимовлияния факторов, невозможностью или неточностью измерения некоторых факторов, случайными внешними и внутренними воздействиями и т. д.

Попытка устранить исходную *неопределённость* путём научного исследования требует высокой квалификации *лиц, принимающих решения* (ЛПР), больших временных затрат и, как следствие, приводит к *несвоевременности* принятия решений.

Традиционный подход сегодня не удовлетворяет требованиям практики ни по *точности*, ни по *эффективности* в силу декомпозиции проблемы на две условно независимые задачи. Первая – детерминированная задача многокритериальной оптимизации без учёта *неопределённости*, а вторая – принятие решений в условиях *неопределённости* целевой функции (критерия). Это обусловлено принципиальной *некорректностью*, по Адамару [2, с. 404], задачи многокритериальной оптимизации в силу *неединственности* её решения. Решить задачу можно только с точностью до области *компромиссных* решений либо путём регуляризации [3; 4].

Регуляризация задачи для определения *единственного* решения путём вычисления обобщённой *многофакторной* скалярной оценки эффективности базируется на субъективных экспертных оценках, детерминизация которых

приводит к значительным ошибкам. А с другой стороны, модели и методы принятия решений в условиях *неопределённости* скалярной оценки оказываются неадекватными без учёта её *многокритериальности*. Следовательно, стремление к повышению *эффективности* принимаемых решений требует развивать методологию *комплексного* разрешения проблемы принятия решений с неотрывным учётом *многокритериальности* и *неопределённости* исходных данных.

Анализ литературы. Обзор и анализ публикаций [3–15] указывают на актуальность разработки *формальных*, нормативных моделей и методов принятия решений в условиях *многокритериальности* и разнородной *неопределённости*. В этом направлении ведутся интенсивные исследования. Теория полезности [9; 10], интервальный анализ [4; 16] и теория нечетких множеств [17; 18] открывают перспективы формализации процедур принятия решений в условиях *многокритериальности* и возможность более адекватного учета *неопределённостей* фиксированных классов.

Однако полученные в настоящее время результаты далеко не исчерпывают проблему. Как известно [4], *допустимое* множество решений Z содержит в общем случае подмножества *согласованных* Z^S и *противоречивых* Z^C (*компромиссных*) решений, т. е. $Z = Z^S \cup Z^C$. Для Z^C невозможно улучшить ни один частный критерий эффективности $k_j(z) \in \langle k_j(z) \rangle$ без ухудшения качества хотя бы одного частного критерия из заданного кортежа $\langle k_j(z) \rangle$, $j = \overline{1,n}$. По определению, *оптимальное* решение $z^* \in Z^C$, где Z^C – область *компромиссов*. Поэтому *многокритериальная задача принятия решений* (МЗПР) имеет *формальный* вид

$$z^* = \arg \underset{z \in Z^c}{extr}\, \Theta[\langle k_j(z) \rangle],\ \forall j = \overline{1,n}, \qquad (1)$$

где Θ – некоторая *регуляризирующая* процедура.

Основная *идея* методов решения МЗПР (1) заключается в построении *регуляризирующей* процедуры Θ, которая позволяет выбрать *единственное* решение из области *компромиссов* Z^C согласно определённому *принципу оптимальности*. Возможен *формальный* подход, основанный на некоторых формальных схемах компромисса (субоптимизации, лексикографической оптимизации и др.) [3; 4], и *эвристический*, когда выбор решения в МЗПР (1) осуществляет ЛПР на основе своего опыта [4; 5]. Каждый из указанных *принципов оптимальности* имеет свою область корректного применения на практике и существенные недостатки [3–5].

Более универсальным является *принцип оптимальности,* состоящий в формировании на множестве частных критериев $\{k_i(z)\}$, $i = \overline{1,n}$ ***обобщенной скалярной оценки*** (*критерия*), называемой *функцией* ***полезности*** $\Pi(z)$ [9–11]:

$$\Pi(z) = Q[\lambda_j, k_j(z)];\ j = \overline{1,m}, \qquad (2)$$

где λ_j – коэффициенты *изоморфизма*, приводящие разнородные частные критерии $k_j(z)$ к изоморфному виду;

Q – оператор, реализующий процедуру вычисления значений *функции полезности* $\Pi(z)$ для всех $z^* \in Z^C$.

Теоретической основой формирования *многокритериальных скалярных* оценок (2) является *теория полезности* [10], которая предполагает существование *количественной* оценки *предпочтительности* «$\succ$» решений. Это означает, что если решения

$$z_1, z_2 \in Z^C,\ z_1 \succ z_2, \text{ то } \Pi(z_1) > \Pi(z_2). \qquad (3)$$

Таким образом, «***полезность***» решений является *количественной* мерой их «*эффективности*». Тогда МЗПР (1) состоит в выборе наилучшего решения z^*:

$$z^* = \arg \max_{z \in Z^C} \Pi(z). \qquad (4)$$

В связи с этим требуется *обоснование способа* формирования *функции* ***полезности*** как *метрики* в пространстве частных критериев $k_i(z)$. Принципиально то, что *объективной метрики* не существует, а принцип ранжирования решений отражает *субъективные предпочтения* ЛПР. Следовательно, *теория полезности* и выбор конкретного вида *функций полезности*, т. е. оператора Q в (2), носит *аксиоматический характер*, причем *аксиоматика* отражает *предпочтения конкретного* СПР или ЛПР. Поэтому в основу теории полезности положена *гипотеза* о существовании «***рационального***» *поведения, которая* допускает *похожесть и воспроизводимость* решений различных СПР *в одинаковых условиях.* В рамках этой *гипотезы* формализация процесса ранжирования решений помогает СПР идентифицировать свои предпочтения и посредством *метрики* оценивать все $z^* \in Z^C$ *количественно*. На этой основе *процедуру оценивания* в дальнейшем можно реализовать с помощью ЭВМ без участия ЛПР. Тем самым достигается возможность создания систем поддержки принятия решений (СППР) различного назначения [3; 4; 12–15; 18–25].

Анализ публикаций свидетельствует о том, что *полная формализация* нахождения *наилучшего* в определенном смысле решения возможна лишь для *хорошо* структурированных задач. Но на практике чаще встречаются *слабо структурированные* задачи, для решения которых не разработаны полностью формализованные методы.

Поэтому современная тенденция создания СППР базируется на сочетании *человеческой способности* решать сложные задачи с возможностями формальных методов и компьютерного моделирования. К таким системам относятся нейронные сети [18], экспертные системы инженерии знаний [19] и другие системы искусственного интеллекта [12–24]. Общим требованием для всех этих систем является *формализация* ***интеллектуальной*** деятельности человека в процессе принятия решений. Исследования в этом направлении актуальны всегда – как с научной целью, так и для постоянно требуемого расширения практической сферы автоматизации ***творческого*** труда людей.

Цель статьи заключается в развитии методологии решения проблемы знаниеориентированного принятия решений с *комплексным* учётом *многокритериальности* и *неопределённости* на основе использования *интеллектуальных* информационных технологий инженерии квантов знаний.

Изложение основного материала. Поставленная цель достигается решением МЗПР (1) путём применения *функции полезности* вида (2) с оператором Q, реализуемым средствами инженерии квантов знаний (ИКЗ) [12].

В ИКЗ используется *системный* подход к проблеме целенаправленного принятия решений на знаниях, суть которого изложим в теоретико-множественном представлении. Под *целенаправленной системой принятия решений* S будем понимать множество E однородных или разнородных элементов, на котором задано множество отношений R, упорядочивающих элементы $e \in E$ в *структуру* C:

$$C = \{E \times R\}. \qquad (5)$$

Система S обладает множеством свойств $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ для достижения заданной цели. Отобразим цель на множество свойств и выделим некоторое подмножество $G \subset X$ свойств системы, которые позволяют достичь цели путём решения задачи выбора *структуры* системы C (5) с необходимыми свойствами G. Тогда *целенаправленная система принятия решений* S может быть определена упорядоченным множеством в виде декартова произведения:

$$S = \{\{E \times R\} \times G\}. \qquad (6)$$

Очевидно, *область существования* $Z(S)$ системы S со свойствами G определяется множеством *структур* (5). Исходя из экономических, экологических, социальных и технических соображений, на область существования $Z(S)$ накладываются некоторые ограничения. Они имеют вид запретов на использование некоторых элементов $e \in E$ и отношений $r \in R$, которые выделяют множество допустимых структур, т. е. *допустимое* множество принимаемых решений $Z^C \subset Z(S)$.

С учётом этих ограничений *решение* МЗПР вида (1) можно представить последовательностью 4-*х* выполняемых *этапов*.

1) Определение и анализ цели с выделением свойств X системы S для достижения цели.

2) Формирование допустимого множества структур C (5), обладающих требуемыми свойствами.

3) Определение метрики для сравнения допустимых решений (задача *оценивания*).

4) Выбор наилучшего варианта решения $z^* \in Z \subset Z(S)$ (задача *оптимизации*). Каждый из указанных *этапов* реализуется согласно методологии и формальных средств ИКЗ [12–15; 25].

Особенность методологии ИКЗ состоит в следующем. Решение МЗПР (1), т. е. синтез системы S (6), осуществляется посредством *индуктивно* создаваемой путём обучения на прецедентах базы δ-квантов знаний (БδkЗ) как системы *импликативных* и *функциональных* закономерностей в пространстве свойств X^n.

БδkЗ имеет сетевую структуру C (5) причинно-следственных связей между входными δ-квантами (*посылками*), промежуточными и выходными δ-квантами (*целевыми следствиями*-решениями) со встроенными квантовыми механизмами дедуктивного вывода принимаемых решений. Параметр $\delta \in \{t, \pi, v, \varphi, \ldots\}$ характеризует условия δ-*неопределённости* и соответствующий используемый тип δ-квантов знаний: точных (tk-знания), приближённых (πk-знания), вероятностных (vk-знания), нечётких (φk-знания). Прецеденты для обучения БδkЗ описываются *таблицами эмпирических данных* (ТЭД) и *сценарными примерами обучающих знаний* (СПОЗ) с указанием имён $\boldsymbol{e_i}$ *посылочных*, $\boldsymbol{c_j}$ *промежуточных*, $\boldsymbol{C_k}$ *целевых* квантовых событий и логических связок «И», «ИЛИ», «НЕ» между ними.

Процесс ***обучения*** состоит в алгоритмическом преобразовании ТЭД и СПОЗ первоначально *в логическую сеть возможных рассуждений* (ЛСВР) с последующим автоматическим квантованием в δ-*квантовую сеть вывода решений* (δКСВР). На выходе δКСВР содержится $\boldsymbol{s}$ вершин $\{\boldsymbol{C_k}\} = \{z_k\} = z$, $(k = 1,2,\ldots,s)$, которые отвечают единому *комплексу* $z \in Z^C$ ***целевых*** решений в МЗПР (1). Следовательно, для данной МЗПР БδkЗ ≡ δКСВР.

Процесс ***вывода*** (*принятия*) многокритериальных решений $\{z_k\} = z$ реализуется автоматически посредством δКСВР путём активизации её выходной квантовой вершины $\boldsymbol{C_k}$ после подачи на вход посылок $\boldsymbol{e_i}$, $(i = 1,2,\ldots,n)$, описывающих текущую ситуацию относительно объекта при-

нятия решений (ОПР).

Эффективность знаниеориентированных многокритериальных решений оценивается внешним критерием $K_э(z)$, который характеризует ***полезность*** всего комплекса $\{z_k\} = z \in Z^C$ целевых решений, генерируемых δКСВР для системного ОПР. Оценка $K_э(z)$ выражается величиной вероятности принятия решения после испытаний данной δКСВР на контрольных ситуациях. Это позволяет ранжировать по качеству в указанном смысле различные δКСВР из общей области существования $Z(S)$. Наилучшим считается ***рациональный*** комплекс решений $z_{рац} \in Z^C$ от δКСВР с наименьшей величиной оценки $K_э(z)$.

Опишем теперь решение МЗПР (1) поэтапно.

На **1** ***этапе*** определяется ***цель*** системы S как некоторое желаемое состояние ОПР, достижение которого требует выполнения целенаправленных действий. В нашем случае цель состоит в индуктивном синтезе с обучением БδkЗ ≡ δКСВР, которая обеспечивает вывод комплекса $\{zk\} = z \in ZC$ целевых решений $\boldsymbol{C_k}$ для всего системного ОПР. Экспертами выделяются требуемые для достижения цели частные функциональные *свойства* $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$, которые измеряются в разнотипных шкалах и определяют потенциальную *эффективность* системы S. Следовательно, *свойства* X являются *частными критериями* оценивания *эффективности* принимаемых решений, а наша задача (1) является *многокритериальной*, так как *цель* характеризуется множеством разнородных критериев X.

На **2** ***этапе*** экспертами *содержательно* определяется множество допустимых решений Z^C на основе формирования необходимых ТЭД и СПОЗ для обучения δКСВР с учётом ограничений на область существования $Z(S)$ по технологическим, экономическим, ресурсным, экологическим и другим соображениям. Источниками этих ограничений являются как *эндогенные* (внутрисистемные) причины, так и *экзогенные* (внешние) требования, порождаемые особенностями множества *структур* C (5) и предметной области. Возможно формирование нескольких вариантов ТЭД и СПОЗ для синтеза и обучения совокупности различных δКСВР на разнородных прецедентах с целью выбора наиболее *рационального* варианта δКСВР. Совместно с экспертами ЛПР синтезируют в процессе обучения допустимые варианты δКСВР, окончательно формируя множество допустимых комплексов решений $z \in Z^C$.

На **3** ***этапе*** решается задача *оценивания*, т. е. определяется некоторая *мера*, позволяющая объективно сравнивать эффективность комплексов решений $z \in Z^C$ между собой и качество отвечающих им δКСВР в условиях многокритериальности и δ-*неопределённости* ($\delta \in \{t, \pi, v, \varphi, \ldots\}$). Такая мера должна учитывать как положительный эффект, т. е. степень достижения цели, так и затраты на достижение этого эффекта. Конкретные затраты на создание системы S требует и синтез любого варианта структуры C (5), связанный с упорядочением некоторого множества элементов E путем реализации отношений R между ними. В нашем случае на **2** ***этапе*** структура C (5) реализуется сетевым δ-квантовым графом $G_{\delta k}$ ≡ δКСВР, обеспечивающим автоматический вывод комплекса $\{\boldsymbol{C_k}\}$ решений $z \in Z^C$ на выходе $G_{\delta k}$ при активизации посылочных δk-знаний $\boldsymbol{e_i}$ на входе. Это позволяет применить существующую в ИКЗ модель $\Phi(z)$ для *неформального многокритериального* оценивания эффективности решений с использованием внешнего критерия $K_э(z)$:

$$\Phi(z) = Q[K_э(z);\ \delta KCBP;\ B_j]\ (j = 1,2,\ldots,s), \quad (7)$$

где $\Phi(z)$ – операторное отображение для представления структуры и оценивания *полезности* комплекса целевых решений $z = \{C_1, \ldots, C_s\} \in Z^C$ по заданной методике с использованием алгоритма вычисления оценки *эффективности* $K_э(z)$ [15];

B_j – кортеж *параметров* модели $\Phi(z)$, характеризующих δКСВР, которая генерирует комплекс целевых решений и отождествляется с ним (δКСВР ≡ z);

Q – оператор, реализующий отображение $\Phi(z)$ и характеризующий структуру модели $\Phi(z)$ как базы δk-знаний (БδkЗ) для вывода комплекса $z \in Z^C$, т. е. вид зависимости между *входом* и *выходом* модели.

Понятие *неформального многокритериального* оценивания комплекса $z \in Z^C$ *многокритериальных* решений в ИКЗ базируется на общепринятом ***доверии*** к *профессиональным знаниям* и *опыту* специалистов конкретной области, как важным *ценностям*, без явной критериальной формализации. Коль скоро эти *ценности* допускают формализацию δk-знаниями в виде специальной БδkЗ ≡ δКСВР [12; 25], то можно избежать известных трудностей *явного формализованного* синтеза обобщённого критерия для *агрегирования частных* критериев при оценивании *эффективности* решений.

Более того, допустимое множество Z^C решений МЗПР (1) в общем случае является конечной совокупностью допустимых δКСВР ≡ z, полезность которых оценивается тем же *внешним* критерием *эффективности* $K_э(z)$ в указанных условиях δ-*неопределенности*. На этом основании модель $\Phi(z)$ (7) правомерна для оценивания эффективности знаниеориентированных реше-

ний в условиях *многокритериальности* δ-*неопределенности*. В отличие от известной полиномиальной аппроксимации зависимости (7) используется δ-квантовый граф $G_{\delta k} \equiv$ δКСВР, описываемый оператором Q в виде обобщённого *s-значного* δ-*квантового* предиката $P(G_{\delta k})$ с использованием алгоритма вычисления оценки качества $K_э(z)$ [15].

Число s целевых решений $C_1,\ldots,C_s$ в комплексе z определяет s-значность обобщённого предиката $P(G_{\delta k})$, описываемого *дизъюнкцией* s *булевых* функций F_i, (i = 1,2,…,s) от 2-*значных квантовых* предикатов, которые отвечают δ-*квантовым путям* графа G_{tk}. Пути соответствуют логическим *причинно-следственным рассуждениям* в δКСВР относительно s ***целевых*** решений-*следствий* $C_1,\ldots,C_s$ в комплексе z. При этом параметры $b_i \in B_j$ модели Φ(z) можно определить лишь с точностью до *интервальной неопределенности*, что обусловлено разнообразием суждений экспертов при формировании СПОЗ. *Интервальная неопределенность* означает, что известны только границы интервала $[b_i^{\min}, b_i^{\max}]$ возможных значений параметров b_i.

Значения α_k^j признаков, $x_j = (\alpha_1^j, \alpha_2^j, \ldots, \alpha_{P_j}^j)$ (j = 1,2,…,n) ОПР также могут быть заданы границами интервалов из-за так называемых **НЕ**-*факторов*: *неполнота* знаний, *неточность* измерений и т. п. Все ***интервальные*** величины, используемые при δ-*неопределенности*, обозначены символами с волной «~».

Итак, отдельное решение $z \in Z^C$ МЗПР (1) представляет собой сетевую систему логического вывода s целевых следствий в виде δ-*квантового* графа $G_{\delta k} \equiv$ δКСВР, который описывается ***дизъюнкцией*** всех булевых функций $F_i\left(\varphi_i(\tilde{x}_j), \tilde{B}_i\right)$, отвечающих путям рассуждений в графе $G_{\delta k}$ относительно целевых следствий C_i, (i = 1,2,…,s). Функции F_i зависят от алгебро-логического вида предикатов $\varphi_i(\tilde{x}_j)$, описывающих ***логику*** *причинно-следственных* связей между критериями-свойствами $k_j \equiv \tilde{x}_j$, (j = 1,2,…,n) ОПР, а также от кортежа параметров $\tilde{B}_i$, характеризующих количество δ-*квантовых* вершин-*событий* в δКСВР и логических связок между ними. Поэтому модель Φ(z) (7) для оценивания знаниеориентированных решений в условиях *многокритериальности* и δ-*неопределённости* приобретает *операторный* вид:

$$\Phi(z) = Q[(\mathrm{K}_э(z);\ \bigvee_{i=1}^{s} F_i((\varphi_i(\tilde{x}_j), \tilde{B}_i))], \qquad (8)$$

где $\varphi_i(\tilde{x}_j)$ – бинарные предикаты как функции от частных критериев $k_j \equiv \tilde{x}_j$, описывающие δ-*квантовые* события в рассуждениях, которым отвечают соответствующие множества вершин и дуг в путях ориентированного графа $G_{\delta k} \equiv$ δКСВР, ведущих к *целевым* следствиям C_i, (i = 1,2,…,s);

$\tilde{B}_i$ – кортеж интервальных параметров, учитывающих количество δ-квантов знаний в δКСВР $\equiv G_{\delta k}$ и вид логических связок между ними;

Q – оператор, описывающий структуру модели Φ(z) и реализующий выбранную методику вычисления значений критерия эффективности $K_э(z)$ искомых решений-следствий $C_1,\ldots,C_s$.

На **4 *этапе*** осуществляется выбор из допустимого множества Z^C единственного *рационального* решения $z_{рац} \in Z^C$, на основе использования результатов **2 *этапа*** и модели (8), предложенной в **3 *этапе***. Тогда в соответствии с формулами (4) и (8) решаемая МЗПР (1) имеет вид:

$$z^* = z_{рац} = \arg\min_{z \in Z^C} \Phi(z) = \\ = \arg\min_{z \in Z^C} [Q(K_э(z); \bigvee_{i=1}^{s} F_i((\varphi_i(\tilde{x}_j), \tilde{B}_i))] . \qquad (9)$$

Понятие «рациональное» решение здесь правдоподобнее «оптимального» в силу *неформально-многокритериального* характера предложенной метрики оценивания (8) принимаемых решений в комплексных условиях *многокритериальности* и δ-*неопределённости*. Результаты компьютерной реализации изложенной методики ИКЗ подтвердили её эффективность и преимущества в решении практических задач принятия *технологических* решений при создании сборочных приспособлений в авиастроении и *антифродовых* решений по борьбе с мошенничеством в биллинговых системах с использованием tk-знаний (δ = t-*неопределённость*) и vk-знаний (δ = v-*неопределённость*).

Выводы.

1. Разработана методология решения проблемы знаниеориентированного принятия решений с *комплексным* учётом *многокритериальности* и различных видов δ-*неопределенности* (δ∈{t,π,v,φ,…}) на базе использования средств инженерии квантов знаний и *интеллектуальных* информационных технологий.

2. В отличие от существующих подходов предложенная методология ИКЗ обеспечивает причинно-следственный вывод многокритериальных решений в различных условиях δ-*неопределенности* за счёт использования модели *неформально-многокритериального* оценивания альтернатив с учётом любых предпочтений ЛПР, не прибегая к затруднительному в этом случае синтезу обобщённого критерия со взвешиванием частных критериев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глушков В. М. Кибернетика. Вопросы теории и практики / В. М. Глушков. – М. : Наука. Мировоззрение. Жизнь, 1993. – 448 с.
2. Математический энциклопедический словарь / под ред. Ю. В. Прохорова. – М. : Советская энциклопедия, 1988. – 848 с.
3. Овезгельдыев А. О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации / А. О. Овезгельдыев, Э. Г. Петров, К. Э. Петров. – К. : Наукова думка, 2002. – 164 с.
4. Петров Е. Г. Методи і засоби прийняття рішень в соціально-економічних системах / Е. Г. Петров, М. В. Новожилова, І. В. Гребеннік. – К. : Техніка, 2004. – 256 с.
5. Подиновский В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. – М. : Наука, 1982. – 254 с.
6. Петров Э. Г. Методы оценивания вектора предпочтений индивидуума / Э. Г. Петров, Н. И. Калита // Проблемы бионики. – 2003. – Вып. 58. – С. 27–35.
7. Петров Э. Г. Структурная идентификация функции многофакторного оценивания / Э. Г. Петров, А. О. Овезгельдыев, К. Э. Петров // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2002. – № 1 (14). – С. 21–28.
8. Катулев А. Н. Современный синтез критериев в задачах принятия решений / А. Н. Катулев, Л. С. Виленчук, В. Н. Михно. – М. : Радио и связь, 1992. – 119 с.
9. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений / П. Фишберн. – М. : Наука, 1978. – 352 с.
10. Нейман Дж. Теория игр и экономическое поведение / Дж. Нейман, О. Моргенштерн ; [пер. с англ. Н. Н. Воробьева]. – М. : Наука, 1970. – 124 с.
11. Ивахненко А. Г. Самоорганизация прогнозирующих моделей / А. Г. Ивахненко, Й. А. Мюллер. – К. :Техника, 1985. – 223 с.
12. Сироджа И. Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления / И. Б. Сироджа. – К. : Наукова думка, 2002. – 428 с.
13. Сироджа И. Б. Многокритериальное принятие решений при разработке межцеховых технологических маршрутов средствами инженерии квантов знаний. Часть I. Постановка и метод решения многокритериальной задачи о назначениях «расцеховка» / И. Б. Сироджа, Г. А. Фролова // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 3(60). – С. 83–94.
14. Сироджа И. Б. Многокритериальное принятие решений при разработке межцеховых технологических маршрутов средствами инженерии квантов знаний. Часть II. Производственная реализация многокритериальной задачи о назначениях «расцеховка» / И. Б. Сироджа, Г. А. Фролова // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 4(61).– С. 71–78.
15. Сироджа И. Б. Оценивание качества идентификационных и прогнозных решений в инженерии квантов знаний. / И. Б Сироджа // Бионика интеллекта. – 2008. – № 2(69). – С. 77–83.
16. Алефельд Г. Введение в интервальные вычисления / Г. Алефельд, Ю. Херцбергер ; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1987. – 360 с.
17. Раскин Л. Г. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения / Л. Г. Раскин, О. В. Серая. – Харьков : Парус, 2008. – 352 с.
18. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница : УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. – 320 с.
19. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон ; [пер. с англ. В. Г. Тертышного]. – М. : Вильямс, 2001. – 622 с.
20. Валькман Ю. Р. Интеллектуальные технологии исследовательского проектирования: формальные системы и семиотические модели / Ю. Р. Валькман. – К. : Port Rojal, 1998. – 250 с.
21. Берштейн Л. С. Нечеткие модели принятия решений: дедукция, индукция, аналогия / Л. С. Берштейн, А. В. Боженюк. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2001. – 110 с.
22. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прад. – М. : Радио и связь. 1990. – 288 с.
23. Бочарников В. П. Fuzzy-Технология: математические основы практика моделирования в экономике / В. П. Бочарников. – СПб., 2001. – 328 с.
24. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.
25. Сироджа И. Б. Модели и методы инженерии квантов знаний для принятия решений в системах искусственного интеллекта / И. Б. Сироджа, И. А. Верещак // Системи обробки інформації. Вип. 8(57). – Харків, 2006. – С. 63–81.

УДК 519.81

Сироджа И. Б., Зевриев Т. Я.

ОБУЧЕНИЕ КВАНТОВОЙ СЕТИ ВЫВОДА РЕШЕНИЙ В ИНЖЕНЕРИИ КВАНТОВ ЗНАНИЙ

Викладено теоретичні основи синтезу узагальненого алгоритму навчання квантової мережі виводу ідентифікаційних і прогнозних рішень та його сутність в інженерії квантів знань (ІКЗ).

Ключові слова: *інженерія квантів знань, логічна мережа можливих міркувань, квантова мережа виводу рішень, навчання квантової мережі, база квантів знань.*

Изложены теоретические основы синтеза обобщенного алгоритма обучения квантовой сети

вывода идентификационных и прогнозных решений, а также его сущность в инженерии квантов знаний (ИКЗ).

Ключевые слова: *инженерия квантов знаний, логическая сеть вывода возможных рассуждений, квантовая сеть вывода решений, обучение квантовой сети, база квантов знаний.*

This article deals with synthesis generalized algorithm theory of quantum network training of identity and prognostic decisions conclusion as well as its essence in quantum knowledge engineering.

Key words: *quantum knowledge engineering, logical net of conclusion of possible discussions, quantum network of decisions conclusion, quantum network training, knowledge quantum database.*

Постановка проблемы. Всем известно, что живой биологический мозг обладает способностью к обучению. Благодаря обучению человек, например, способен обрести высокую степень собственной интеллектуальности. Научное направление «искусственный интеллект» уже сегодня располагает значительными достижениями в области создания эффективных обучающихся и самообучающихся математических и технических моделей, имитирующих функции биологического мозга. Достаточно упомянуть мировые результаты создания знаниеориентированных систем и обучающихся искусственных нейронных сетей (ИНС), а также их использование в решении задач классификации, распознания образов, диагностики, прогнозирования, адаптивного управления, идентификации и др.

С позиции математики процесс обучения рассматривается как адаптация параметров и архитектуры ИНС либо квантовой сети (КС) для принятия идентификационных или прогнозных решений путем оптимизации заданной целевой функции. В роли целевой функции принимают критерий качества решений, который характеризует степень соответствия нейросети или КС решаемой ими задачи. Обычно полагают, что процесс обучения сети как нелинейного сетевого преобразователя «вход-выход» имеет перманентный характер. Это означает, что сетевой преобразователь с течением времени улучшает свои характеристики, приближаясь к оптимальному решению поставленной задачи.

Тип и характер обучения преобразователя зависит от объема априорной и текущей информации о среде, где он работает, и от критерия качества. Информация о внешней среде задается, как правило, в виде обучающей выборки образов (ситуаций) или примеров, после обработки которой сетевой преобразователь извлекает сведения (знания) для получения искомого решения.

В работе рассматривается наиболее популярная парадигма обучения «с учителем», где «учителю» известна информация о внешней среде в виде обучающей выборки. Последняя содержит последовательность входных посылок в виде значений признаков данного объекта принятия решений (ОПР), а также «правильную реакцию» на них «учителя» в виде целевого признака ОПР как обучающего указания следствия d.

Поскольку реакция у необученной КС может отличаться от «правильной» реакции «учителя» d, то возникает ошибка $e = d - y$. Следовательно, проблема заключается в построении метода обучения квантовой сети, который обеспечивал бы настройку параметров и архитектуры сети так, чтобы заданный критерий качества в виде скалярной функции от ошибки $E(e)$ достигал своего минимального значения. При этом все значения функции $E(e)$ представляются в ИКЗ величиной вероятности ошибочного сетевого следствия, т. е. не совпадающего с правильной реакцией «учителя» при контрольных проверках результатов обучения КС.

Анализ литературы. Методология обучения квантовых сетей в ИКЗ, изложенная в первоисточниках [1–4], находится еще в стадии становления. Наиболее близкими к ИКЗ математическими проблемами обучения компьютерных систем занимается направление в общей теории искусственных нейронных сетей, получившее название «нейроматематика» [5–9]. В основе нейроматематики лежат методы идентификации и оптимизации.

Наиболее популярными в настоящее время являются парадигмы обучения «с учителем» и «без учителя» (самообучение), когда правильная реакция на сигналы внешней среды неизвестна. Своеобразным компромиссом между этими парадигмами являются парадигма «обучение с подкреплением» [5] и парадигма «смешанного обучения», когда часть параметров сети настраивается посредством обучения с учителем, а другая – с помощью самообучения. С указанными парадигмами связаны правила обучения, из которых пять основных правил выделил С. Хайкин [9]: обучение с коррекцией по ошибке, обучение по Больцману, обучение по Хэббу, обучение памяти и конкурентное обучение.

С правилом коррекции по ошибке связано наибольшее число известных алгоритмов обучения ИНС, базирующихся на оптимизации и адаптивной идентификации заданной целевой функции $E(e)$. В основе обучения по Больцману лежат принципы термодинамики, обеспечиваю-

щие настройку синаптических весов стохастической сети с желаемым распределением вероятностей состояний отдельных нейронов. Правило Хэбба и обучение памяти связаны с самообучением и нейрофизиологическим постулатом, утверждающем о возрастании силы связи возбужденных нейронов с обеих сторон синапса и об ослабевании связи, если соседние нейроны находятся в разных состояниях.

Отличительной особенностью конкурентного обучения является процесс «соревнования» нейронов выходного слоя по принципу «winner takes all», т. е. возбуждается только один нейрон на выходе – «победитель» в сетях адаптивного резонанса (ART) и в самоорганизующихся картах (SOM) [10].

Обученной считается сеть, которая в некотором статистическом смысле повторяет реакцию «учителя» (среды). Поскольку информация о внешней среде обычно имеет нестационарный характер, процесс обучения сети протекает непрерывно, для чего могут использоваться рекуррентные процедуры.

Отметим главное отличие ИНС от квантовых сетей (КС) в ИКЗ. Основным структурным элементом ИНС является формальный или искусственный нейрон (он же узел нейросети) в виде математической или программно-алгоритмической модели, элементы которой имеют прямые аналоги компонент биологических нейронов живого мозга. Квантовые сети вывода решений (КСВР) не имеют прямых аналогов биологических нейросетей и являются моделями логических рассуждений человека в процессах причинно-следственного вывода принимаемых целевых решений, опираясь на обучаемую по прецедентам базу квантов знаний (БkЗ).

Математическая и программно-алгоритмическая структура КСВР логически строится из формализованных порций (квантов) информации в виде сетевой системы импликативных и функциональных закономерностей (знаний), приводящих к целевым следствиям. Кванты знаний (k-знания), которым можно поставить в соответствие число, образуют k-знания 0-го уровня сложности. Если k-знаниям отвечают числовые векторы или функции, а также числовые матрицы, то имеем k-знания соответственно 1-го и 2-го уровней.

Такие разноуровневые k-знания являются операторными элементами КС в виде своеобразных нелинейных преобразователей типа «вход-выход», которые имеют смысловую, информационную и алгоритмическую составляющие для компьютерной обработки k-знаний. На выходе КСВР формируется одно или несколько целевых следствий, вытекающих из посылочных и промежуточных событий на входе.

С инженерной точки зрения, КСВР = БkЗ – это адаптивная (обучающаяся), распределенная сетевая система обработки причинно-следственной информации посредством логически связанных разноуровневых k-знаний как вычислительных узлов сети. Одновременно КСВР выполняет функции БkЗ и механизма дедуктивного вывода целевых следствий из входных посылок, а также обладает свойствами накапливать знания, обобщать их и делать доступными пользователю для принятия многокритериальных решений с объяснением [1–3].

Несмотря на специфику и отличия КСВР от ИНС, методология обучения ИНС в нейроматематике служит существенным научным базисом для развития методологии обучения КСВР в инженерии квантов знаний на основе использования методов структурно-параметрической идентификации и оптимизации [5–10].

Целью статьи является теоретическое обоснование обучения δКСВР в ИКЗ и синтез обобщенного алгоритма обучения на принципах эволюционной оптимизации целевой функции $E(e)$ [10] в условиях δ-неопределенности с использованием t-, π-, v-, φ-квантов знаний [3]. Область значений целевой функции определяется величинами вероятности ошибочного следствия на выходе δКСВР при контрольных выборочных данных [4]. Сокращенно задачу назовем «ОδКСВР».

Изложение основного материала. Содержательно задача ОδКСВР состоит в построении метода адаптации параметров и логики структуры δКСВР при обучении по таблице эмпирических данных (ТЭД) заданного объема и сценарным примерам обучающих знаний (СПОЗ) путем эволюционной оптимизации критерия эффективности $K_э$ принимаемых решений. Иными словами требуется создать метод индуктивного синтеза распределенной базы δk-знаний (БδkЗ) в виде δКСВР (т. е. БδkЗ ≡ δКСВР) как структурно полной системы импликативных и/или функциональных закономерностей, определяемых в процессе обучения на ТЭД и СПОЗ для вывода эффективных идентификационных и прогнозных решений относительно заданных ОПР. Для формальной постановки задачи введем необходимость определения.

Реальный объект принятия решений (ОПР) обычно описывают кортежем или вектором доступных для измерений его разнотипных характеристик (признаков)

$$X = \langle x_1, x_2, \ldots, x_n \rangle \qquad (1)$$

любой природы. Относительно ОПР (процесса,

явления, ситуации) необходимо принимать эффективные идентификационные и прогнозные решения в виде целевого следствия C_j, ($j = \overline{1,S}$), вытекающего из посылочных данных X (1).

Определение 1. СПОЗ – это сценарные примеры обучающих знаний, которые создаются экспертами по предметной области и описывают отдельные объективные фрагменты сценария логических причинно-следственных рассуждений при формировании целевых следствий в форме высказываний продукционного типа:

ЕСЛИ (логическая комбинация посылок e_i)
ТО C_j (следствие) (2)

с учетом степени достоверности высказываний e_i и C_j.

Задание СПОЗ осуществляют с помощью пополняющейся в режиме обучения булевой сценарной матрицы инциденций (БСМИ), содержащей логические связки «$\wedge$», «$\vee$», «$\neg$» между входящими дугами в вершину-*следствие* графа $G_{СП}$, описывающего **СПОЗ**. Процесс пополнения БСМИ происходит, как правило, в диалоге «эксперт – ЭВМ» и завершается при получении ***структурно-полного*** графа $\boldsymbol{G}_{ЛС}$ **ЛСВР**, т. е. такого, в котором существует хотя бы один путь от входных вершин-посылок до каждой из выходных (целевых) вершин-*следствий* $C_1, C_2,\ldots, C_S$.

Своеобразным видоизменением СПОЗ можно считать таблицу эмпирических данных $T_o(m, n)$, состоящую из ***m*** строк – наблюдений над объектом принятия решений, который описывается ***n*** признаками:

$$T_o(m,n) = \left\{x_1^{(\mu)}, x_2^{(\mu)},\ldots, x_n^{(\mu)}\right\}_{\mu=1}^{m}, \mu = \overline{1,m}. \quad (3)$$

ТЭД = $T_o(m, n)$ вида (3) используется как *обучающая* выборка, если какой-либо из n признаков служит *целевым*, а остальные – *посылочными* данными $x_1, x_2,\ldots, x_n$.

При этом семантика μ-й строки в (3) описывается высказыванием продукционного типа (2), например, так: «**ЕСЛИ** при наблюдении за ОПР ω зафиксированы k-е, $(k = \overline{1,\rho_j})$ $\alpha_k^{(\mu)_j}$ значения признака $x_j^{(\mu)}$ из числа признаков строки $x_1^{(\mu)}$ ИЛИ $x_2^{(\mu)}$ ИЛИ … ИЛИ $x_{n-1}^{(\mu)}$ $j = 1,2,\ldots,n$, **ТО** ОПР ω обладает определенным значением $\alpha_k^{(\mu)_ц}$ *целевого* признака $\alpha^{(\mu)_ц} = \alpha^{(\mu)}$». Последний в μ-й строке признак $\alpha^{(\mu)}$ – ***целевой***.

Определение 2. Логической сетью возможных рассуждений (ЛСВР) относительно целевых следствий $C_1, C_2,\ldots, C_S$ называется синтезированный в режиме обучения по заданным СПОЗ с помощью алгоритма **δАЛОБУЧ** ориентированный граф $G_{ЛС}$ = ($E_{АС}, \Gamma_{ЛС}$), который имеет *порядковую* функцию $\Pi(X_i)$ = k, $\forall X_i \in E_{ЛС}$, определенную на подмножествах-*уровнях* вершин $N_1, N_2,\ldots, N_k,\ldots,N_r \subset E_{ЛС} \in G_{ЛС}$ и обладает следующими свойствами:

1) все вершины (узлы сети) $X_i \in E_{ЛС}$, $(1 \le i \le q_x)$ отвечают посылочным, промежуточным и целевым высказываниям из СПОЗ конкретной предметной области, а дуги $u_i(X_i, X_j) \in \Gamma_{ЛС}$, $(1 \le l \le q_u)$ с логическими связками ($\wedge$, $\vee$, $\neg$) из $\Gamma_{ЛС}$:$E_{ЛС} \to E_{ЛС}$ указывают на логику причинно-следственных связей между узлами X_i, принадлежащих различным уровням N_k порядковой функции $\Pi(X_i)$, $(1 \le k \le r)$;
2) все узлы $X_i \in N_0 \subset E_{ЛС}$ при $\Gamma_{ЛС}^{-1} N_0 = \varnothing$ соответствуют входным посылкам e_f, $(1 \le f \le q_e)$ относительно некоторых промежуточных следствий c_k, $(1 \le k \le q_c)$; $q_e + q_c + S = q_x$;
3) все узлы $X_i \in N_r \subset E_{ЛС}$ при $\Gamma_{ЛС} N_r = \varnothing$ отвечают заданным S целевым (выходным) узлам-следствиям C_j, $(1 \le j \le S)$, а узлам X_i, относящимся к уровням $N_1, N_2,\ldots, N_{r-1}$ порядковой функции, отвечают промежуточные следствия c_k; узлы X_i одного j-го уровня не связаны между собой, ($j = \overline{1,r}$).

Определение 3. ***Целенаправленной δ-квантовой сетью вывода решений*** **(δКСВР)** называется результат преобразования (трансформации) графа $G_{ЛС}$ = ЛСВР посредством алгоритма **δАЛАКВА** в δ-*квантовый* сетевой граф $G_{\delta k}$ = ($E_{\delta k}$, $\Gamma_{\delta k}$), который обладает следующими свойствами:

1) все узлы $X_i \in E_{\delta k}$ соответствуют автоматически сгенерированным разноуровневым δk-знаниям путем трансформации ЛСВР, а дуги $u_i \in \Gamma_{\delta k}$, $l = \overline{1,q_u}$, отображают логические связи между δ-квантовыми событиями e_f, c_k и C_j;
2) все узлы $X_i \in N_0 \subset E_{\delta k}$ при $\Gamma_{\delta k}^{-1} N_0 = \varnothing$ отвечают входным δk-знаниям (посылкам) с именами e_f, $f = \overline{1,q_e}$ по отношению к δk-знаниям (промежуточным следствиям) с именами c_k, $(1 \le k \le q_c)$;
3) узлы уровней $N_1, N_2,\ldots, N_{r-1} \subset E_{\delta k}$ отвечают промежуточным δk-знаниям-следствиям, а все узлы $X_i \in N_r$ при $\Gamma_{\delta k} N_r = \varnothing$ являются целевыми δk-знаниями (искомыми решениями) с именами C_j, $(1 \le j \le S)$;
4) δКСВР служит одновременно базой δk-знаний (Бδk3) и функциональным сетевым δ-квантовым механизмом причинно-

следственного вывода совокупности S целевых решений C_j и описывается дизъюнкцией бинарных предикатов φ_j, отвечающих каждому C_j, $j = \overline{1,S}$.

Формально задача ОδКСВР в условиях δ-неопределенности заключается в выборе рационального решения $z_{\text{рац}} \in Z$ на основе обучения δ-квантовой сети методом эволюционной оптимизации критерия эффективности $K_э$.

При обучении используются данные об интервальных значениях $\tilde{\Phi}(\pounds)$ полезности решений $\pounds \in Z$ из допустимой области Z, обучающие ТЭД и СПОЗ, а также структурно-параметрическая идентификация модели $\tilde{\Phi}(\pounds)$ неявно многокритериального оценивания полезности альтернатив [11] с помощью операторного отображения Q с учетом топологии $\{q_x, q_u\}$ δКСВР по формуле:

$$\pounds_{\text{рац}} = \arg\min_{\pounds \in Z} Q[\tilde{\Phi}(\pounds)]. \qquad (4)$$

В задаче (4) рациональное решение $\pounds_{\text{рац}}$ представляет собой комплекс $\pounds$ принимаемых знаниеориентированных решений в виде искомых целевых следствий $C_1, C_2,\ldots, C_S$, которые дедуктивно выводятся посредством конкретной δКСВР с минимальной вероятностью ошибочных решений на контрольной выборке. При этом δКСВР имеет рациональную архитектуру в смысле безызбыточного количества q_xδ-квантовых узлов и логических связей q_u между узлами.

Задачу ОδКСВР в виде (4) невозможно решить с помощью регулярных градиентных и ньютоновских процедур, поскольку целевая функция $E(e) = K_э(\pounds)$ и выходной сигнал δКСВР являются многоэкстремальными и не дифференцируемыми в общем случае. Поэтому используем эволюционный подход к обучению [10], основанный на универсальном методе проб и ошибок, когда решение ищется случайно. При удаче решение принимается, а при неудаче отвергается с тем, чтобы снова прибегнуть к случайному выбору как источнику всех возможностей найти наилучшее решение. Для этого в теоретическом плане требуется построить пространство настраиваемых параметров δКСВР, которые определяют ее архитектуру $\{q_x, q_u\}$ в процессе обучения по прецедентам в СПОЗ или ТЭД.

Логику причинно-следственного вывода целевых следствий $C_1, C_2,\ldots, C_S$ посредством δКСВР опишем полиномом Жегалкина (единственным для произвольной булевой функции $F(x_1,\ldots,x_n)$):

$$C_j = F_j(x_1,\ldots,x_n) = a_0 \oplus a_1 x_1 \oplus \ldots$$
$$\oplus a_n x_n \oplus a_{n+1} x_1 x_2 \oplus a_{n+2} x_1 x_3 \oplus \qquad (5)$$
$$\oplus \ldots \oplus a_{L-1} x_1 x_2 \cdots x_{n-1} \oplus a_L x_1 x_2 \cdots x_n$$

в булевом базисе $\{x \oplus y, x \cdot y, 1\}$,
где «$\oplus$» – сложение по mod 2;
« · » – конъюнкция.

Тогда множество коэффициентов

$$\{a_0, a_1, \ldots, a_n, a_{n+1}, \ldots, a_{L-1}, a_L\} \qquad (6)$$

образует L-мерное векторное пространство настраиваемых δ-квантовых весов a_l, $l = 0,1,\ldots L-1$, где $a_l \in \{0,1\}$,

$$L = 1 + \sum_{i=1}^{n} C_n^i = 2^n. \qquad (7)$$

При $a_l = 0$ l-й член полинома (5) отсутствует, что обеспечивает настройку логической структуры δКСВР при обучении с целью достижения оптимального качества выводимого следствия Cj, ($j = \overline{1,S}$) согласно формуле (4).

Следовательно, обучение δ-квантовой сети сводится к нахождению такого вектора δ-квантовых весов $\vec{a}^*$:

$$\vec{a}^* = (a_0, a_1, \ldots, a_n, \ldots, a_{L-1}), \qquad (8)$$

который определяет по формуле (5) булеву функцию $F(x_1,\ldots,x_n)$ логической структуры синтезируемой δКСВР для дедуктивного вывода целевого следствия C_j наилучшего качества, т. е. с минимальным значением вероятности ошибочного решения по критерию эффективности $K_э(z_j)$, ($j = \overline{1,S}$) на контрольных прецедентах [4].

В статье сделан акцент на использование эволюционных алгоритмов обучения, которые развиваются в относительно независимых направлениях: случайный поиск [10; 12], эволюционное планирование [13–15] и генетическое программирование [16–19]. Как частный простой случай синтеза обобщенного алгоритма обучения δКСВР рассмотрим использование локальных алгоритмов случайного поиска [12], отличающихся независимостью от предыстории. Предполагая существенное изменение целевой функции на каждом дискретном шаге процесса обучения k, ($k = 0,1,2,\ldots$) избираем локальную нелинейную тактику независимых случайных шагов-проб с целью уменьшения критерия эффективности $K_э(z_j)$ и исправления ошибок при их возникновении. Получаем алгоритм обучения с «поощрением случайностью». Введем векторный элемент $\zeta(k)$ случайности как положительную реакцию $R^+(k)$ обучения при уменьшении значения $K_э(z_j)$ и отрицательную реакцию $R^-(k)$ при его увеличении (неудачный случайный шаг). В рекуррентной форме обобщенный алгоритм обучения в пространстве δ-квантовых весов (6) имеет вид

$$a_j(k+1) = a_j(k) + \begin{cases} \eta\zeta(k), \text{если } R^+(k), \\ f(\Delta K_{эj}(k-1)), \text{если } R^-(k), \end{cases} \quad (9)$$

где η – пробный шаг поиска в пространстве $\{a_l\}_{l=0}^{L-1}$ (6) в зависимости от функции изменения критерия эффективности $f(\Delta K_э)$.

Из выражения (9) следует, что случайная проба $\eta\zeta(k)$ вводится как «поощрение» за удачный шаг $R^+(k)$, когда $_\Delta K_{эj}(k-1) < 0$. Отрицательная реакция $R^-(k)$ вызывает действие

$$f(\Delta K_{эj}(k-1)) = a_j(k-1) - a_j(k) = -\Delta a_j(k-1). \quad (10)$$

направленное на преодоление полученного отрицательного эффекта $R^-(k)$, когда $_\Delta K_{эj}(k-1) \geq 0$. После этого следует снова случайный шаг $\eta\zeta(k+1)$, чтобы алгоритм (9) исправил ошибки, допущенные в процессе случайного поиска. Очевидно, возможны различные алгоритмы локального случайного поиска, отличающиеся способами определения направления рабочего шага поиска.

В работе предлагается обобщенный алгоритм наилучшей пробы случайного поиска оптимальной архитектуры $\{q_x, q_u\}$ δ-КСВР с обучением на многократной случайной выборке (ТЭД $T_o(m, n)$). При этом из исходной точки $a_j(k)$ производится q случайных проб

$$\eta_\zeta\zeta^1(k), \eta_\zeta\zeta^2(k), ..., \eta_\zeta\zeta^q(k) \quad (11)$$

в пространстве δ-квантовых весов $\{a_l\}_{l=0}^{L-1}$ и запоминается тот шаг $\eta\zeta^*(k)$, который привел к наименьшему значению целевой функции $K_э(z_j)$. Рабочий шаг делается именно в направлении наилучшей пробы $\eta_\zeta\zeta^*(k)$ по алгоритму

$$a_j(k+1) = a_j(k) + \eta_\zeta\zeta^*(k), \quad (12)$$

где направление поиска $\zeta^*(k)$ удовлетворяет условию:

$$K_{эj}[a_j(k) + \eta_\zeta\zeta^*(k)] = \\ = \min_{\mu=1,2,...,q} \{K_{эj}[a_j(k) + \eta_\zeta\zeta^\mu(k)]\}. \quad (13)$$

Экспериментально подтверждено, что с увеличением числа проб q выбранное направление приближается к наилучшему, т. е. антиградиентному.

Предположенные и обоснованные рекуррентные алгоритмы обучения δ-квантовых сетей (9) и (12) обеспечивают индуктивное построение идентификационных и прогнозных δКСВР оптимальной архитектуры $\{q_x, q_u\}$ по критерию минимальной вероятности ошибочных решений $K_э(z_j)$ на контрольных выборках при дедуктивном выводе целевых следствий в условиях δ-неопределенности (δ ∈ {t, π, v, φ}) [1–3].

Выводы.

1. Разработанные теоретические основы обучения квантовых сетей вывода решений в инженерии квантов знаний на базе использования методов случайного поиска позволяют синтезировать эффективные алгоритмы обучения нового класса сетевых структур для принятия решений с настраиваемой архитектурой, не прибегая к дифференцированию целевой функции.

2. Полученные результаты предопределяют перспективу разработки эволюционных алгоритмов обучения δКСВР в ИКЗ на основе использования эволюционного планирования, а также генетического программирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сироджа И. Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления / И. Б. Сироджа. – К. : Наукова думка, 2002. – 423 с.
2. Сироджа И. Б. Сетевые модели инженерии квантов знаний для вывода решений в системах искусственного интеллекта / И. Б. Сироджа, Л. С. Молодых // Искусственный интеллект. – 2004. – № 4 – С. 124–131.
3. Сироджа И. Б. Модели и методы инженерии квантов знаний для принятия решений в системах искусственного интеллекта / И. Б. Сироджа, И. А. Верещак // Системи обробки інформації. – Харків, 2006. – Випуск 8(57) – С. 63–81.
4. Сироджа И. Б. Оценивание качества идентификационных и прогнозных решений в инженерии квантов знаний / И. Б. Сироджа // Бионика интеллекта. – 2008. – № 2(69) – С. 77–83.
5. Golden R. M. Mathematical Methods for Neural Network Analysis and Design / R. M. Golden. – Cambridge, Massachusetts : The MIT Press, 1996. – 420 p.
6. Braun H. Neuronale Netze. Optimierung durch Lernen und Evolution / H. Braun. – Berlin : Springer-Verlag, 1997. – 279 s.
7. Dracopoulos D. C. Evolutionary Learning Algorithms for Neural Adaptive Control / D. C. Dracopoulos. – Berlin : Springer-Verlag, 1997. – 211 p.
8. Shepherd A. J. Second-Order Methods for Neural Networks / A. J. Shepherd. – London : Springer-Verlag, 1997. – 145 p.
9. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation / S. Haykin. – Upper Saddle River, N. J. : Prentice Hall Inc., 1999. – 842 p.
10. Бодянский Е. В. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения / Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко. – Харьков : ТЕЛЕТЕХ, 2004. – 372 с.
11. Сироджа И. Б. Модель неформального многокритериального принятия решений средствами инженерии квантов знаний / И. Б. Сироджа, В. А. Постернакова // Радіоелектронні і комп'ютерни системи. – 2011. – № 4. – С. 97–103.
12. Solis F. J. Minimization by random search technologies / F. J. Solis, J. B. Wets // Math of Operation Research. – 1981. – № 9. – P. 19–30.
13. Box G. E. P. Evolution operation: A method for increasing industrial productivity / G. E. P. Box //

Applied Statistics. – 1957. – № 6. – P. 81–101.
14. Spendley W. Sequential application of simplex design in optimization and evolutionary operation / W. Spendley, G. R. Hext, F. R. Himsworth // Technometrics. – 1962. – № 4. – P. 441–461.
15. Nelder J. A. Simplex method for function minimization / J. A. Nelder, R. A. Mead // Computer J. – 1965. – № 7. – P. 308–313.
16. Holland J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. An Introductory Analisis with Application to Biology, Control and Artificial Intelligence / J. H. Holland. – London : Bradford Book Edition, 1994. – 211 p.
17. Батищев Д. И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач / Д. И. Батищев. – Воронеж : Воронеж. гос. техн. ун-т, 1995. – 69 с.
18. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / [Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. Н. Петрашев, С. А. Сергеев]. – Харьков : Основа, 1997. – 112 с.
19. Курейчик В. М. Генетические алгоритмы. Состояние. Проблемы. Перспективы / В. М. Курейчик // Известия РАН. Теория и системы управления. – 1999. – № 1. – С. 144–160.

НАШИ АВТОРЫ

1. **Абдулгазис Азиз Умерович** – старший преподаватель кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
2. **Абдулгазис Дилявер Умерович** – преподаватель кафедры профессиональной педагогики и инженерной графики Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
3. **Абдулгазис Умер Абдуллаевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации и ремонта автомобилей, декан инженерно-технологического факультета Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
4. **Абильтарова Эльвиза Нуриевна** – кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры охраны труда Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
5. **Абитова Шазие Юсуфовна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры охраны труда Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
6. **Абрамов Дмитрий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
7. **Аметов Исмаил Энверович** – кандидат химических наук, преподаватель кафедры технологического образования Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
8. **Бабицкий Леонид Федорович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механизации, энергетики и технического сервиса Южного филиала Национального аграрного университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет», г. Симферополь
9. **Бекиров Леннур Расимович** – аспирант кафедры стандартизации и сертификации качества сельскохозяйственной продукции Херсонского национального технического университета, г. Херсон
10. **Бекиров Расим Нафеевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры охраны труда в машиностроении и образовательных учреждениях Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
11. **Джемилов Эшреф Шефикович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
12. **Зевриев Тимур Яшарович** – преподаватель кафедры информационно-компьютерных технологий Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
13. **Зубков Анатолий Александрович** – заместитель директора по технологии ООО «Экомет», г. Москва
14. **Ислямов Ислям Салимджанович** – магистрант специальности «Транспорт» Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
15. **Клец Дмитрий Михайлович** – аспирант кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
16. **Коробко Андрей Иванович** – начальник отдела метрологии и стандартизации Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
17. **Крамаренко Татьяна Юрьевна** – аспирант кафедры технологий аэропортов Национального авиационного университета, г. Киев
18. **Кулалаева Наталья Валериевна** – кандидат химических наук, доцент кафедры химии Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев
19. **Линник Иван Иванович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технической эксплуатации авиационной техники Национального авиационного университета, г. Киев

20. **Мамутов Рустем Руждиевич** – магистрант специальности «Транспорт» Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
21. **Менумеров Эреджеп Ришадович** – преподаватель кафедры технологического образования Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
22. **Михайлюк Валерий Александрович** – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой БЖД и ЦЗ Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев
23. **Мостовая Анжелла Николаевна** – аспирант кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
24. **Оболонский Виктор Васильевич** – инженер-механик Симферопольского хлебного завода, г. Симферополь
25. **Олег Михаил Вячеславович** – аспирант кафедры технологий аэропортов Национального авиационного университета, г. Киев
26. **Подзноев Геннадий Петрович** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
27. **Подригало Надежда Михайловна** – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной и компьютерной графики Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
28. **Подригало Михаил Абович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
29. **Постернакова Вероника Альбертовна** – старший преподаватель кафедры программной инженерии Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков
30. **Сейдаметов Гирей Серверович** – преподаватель кафедры теоретической и социальной информатики Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
31. **Сироджа Игорь Борисович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической кибернетики Национальной академии природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь
32. **Соболевский Иван Витальевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации, энергетики и технического сервиса Южного филиала Национального аграрного университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет», г. Симферополь
33. **Тамаргазин Александр Анатольевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий аэропортов Национального авиационного университета, г. Киев
34. **Тесля Владимир Олегович** – аспирант кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
35. **Умеров Эрвин Джеватович** – старший лаборант кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
36. **Феватов Сададин Асанович** – преподаватель кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
37. **Хабрат Николай Иванович** – доцент кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
38. **Холодов Михаил Павлович** – аспирант кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
39. **Шемиев Сеит-Абла Басирович** – студент 3 курса специальности «Эксплуатация и ремонт автомобилей» Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

40. **Шрон Борис Леонидович** – студент 4 курса специальности «Технология машиностроения» Севастопольского национального технического университета, г. Севастополь
41. **Шрон Леонид Борисович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения Севастопольского национального технического университета, г. Севастополь
42. **Шуленина Зинаида Макаровна** – директор ООО «Экомет», г. Москва
43. **Ягьяев Эльмар Энверович** – кандидат технических наук, преподаватель кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
44. **Якубов Чингиз Февзиевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВЧЕНІ ЗАПИСКИ КРИМСЬКОГО ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Випуск 29

Технічні науки

(*Мовою оригіналу*)

Головний редактор Якубов Ф. Я.
Заступники головного редактору Кропотова Н. В., Абдулгазіс У. А.
Відповідальний за випуск Фазилова А. Р.
Коректура та верстка Фазилова А. Р.

Підписано до друку 31.10.2011 р. Формат $60\times84^{1}/_{8}$.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Обл.-вид. друк. арк. 10,8. Об'єм 13,25 друк. арк.
Тираж 100 прим.

Підготовлено до друку та віддруковано
у редакційно-видавничому відділі Науково-інформаційного центру
Республіканського вищого навчального закладу «Кримський інженерно-педагогічний університет»
95015, м. Сімферополь, вул. Севастопольська, пров. Учбовий, 8