

**МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК
НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ДЕРЖАВНОГО
ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ**

СЕРІЯ

«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

ВИПУСК 19

Київ·ДЕТУТ·2011

УДК 656: 62

Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства інфраструктури України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 19. – К.: ДЕТУТ, 2011. – 194 с.

Збірник містить статті, присвячені теоретичним, методологічним та прикладним проблемам галузі залізничного транспорту. У статтях збірника розглядаються питання інфраструктури й рухомого складу залізниць, технології та організації транспортних процесів, математичного моделювання об'єктів залізничного транспорту, екологічної безпеки на транспорті.

У підготовці випуску брали участь відомі вчені, фахівці в галузі транспорту, викладачі провідних вищих навчальних закладів України, члени Центрального наукового центру Транспортної академії України.

Для науковців, викладачів, студентів вищих навчальних закладів та працівників транспорту та зв'язку.

Редакційна колегія:

В. К. Мироненко, доктор технічних наук, завідувач кафедри «Управління процесами перевезень», академік Транспортної академії України, академік Міжнародної академії наук екології та безпеки життєдіяльності (*головний редактор*);

В. І. Данилевський, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», проректор з наукової роботи;

М. М. Алексюк, доктор технічних наук, професор кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць»;

Е. І. Даніленко, доктор технічних наук, професор кафедри «Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд», академік Транспортної академії України;

М. Б. Кельріх, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Вагони», академік Транспортної академії України;

В. В. Косарчук, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теоретична і прикладна механіка»;

М. М. Крюков, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Вища математика»;

Л. Г. Лобас, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри «Теоретична і прикладна механіка», заслужений діяч науки і техніки України, член-кореспондент Транспортної академії України, дійсний член Нью-Йоркської академії наук;

О. Я. Пилипчук, доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності на залізничному транспорті», академік Міжнародної академії безпеки життєдіяльності;

О. І. Стасюк, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту»;

Л. І. Тимченко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика»;

М. М. Чепілко, доктор фізико-математичних наук, завідувач кафедри «Фізика та електротехніка»;

Н. Г. Книш, фахівець I категорії Науково-дослідного відділу (*технічний секретар*).

Статті збірника рецензували члени редакційної колегії, друкуються мовою оригінала.

Рекомендовано до друку Вченою радою ДЕТУТ (протокол № 3 від 24.11.2011 р.).

Засновник і видавець – Державний економіко-технологічний університет транспорту

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ 13946-2919ПП від 22.04.2008 р.

Збірник входить до Переліку № 10 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора та кандидата наук (Бюлетень ВАК України від 18.11.2009 р., № 36).

© Державний економіко-технологічний університет транспорту, 2011

ЗМІСТ

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Афанасов А.М.</i> Регулирование магнитных потоков тяговых электрических машин при их взаимном нагружении	5
<i>Бамбура О.В.</i> Використання перехідних кривих при будівництві залізниць	15
<i>Возненко А.Д.</i> Досвід зарубіжних країн у проведенні колієвимірвальних робіт при будівництві та експлуатації швидкісних магістралей	23
<i>Данилевський В.І., Сливовська Л.В.</i> Комплексна модернізація тягових електричних машин тягового і моторвагонного залізничного рухомого складу	26
<i>Дорошенко О.Ю., Гудіменко К.В., Дорошенко Ю.М.</i> Історія американських швидкісних магістралей і перспективні напрямки досліджень в області цементобетонних покриттів	39
<i>Дьомін Ю.В., Стецько А.А.</i> Аналіз сучасних технічних вирішень конструкцій спеціалізованих вагонів для інтегрованих та інтермодальних перевезень	43
<i>Іванов В.Б., Косенко В.І., Осколков О.Г.</i> Досвід модернізації маневрових локомотивів ТГМ з встановленням гідропередачі VOITH.....	50
<i>Ищенко В.М., Кулешов В.П., Мельничук А.В.</i> Диагностирование холодильных машин подвижного состава с использованием Igr-i диаграммы	56
<i>Матвієнко С.</i> Вибір режимів керування рухом поїзда при виконанні тягово-енергетичних розрахунків	62
<i>Осьмак В.Е., Брайковская Н.С.</i> К оценке герметичности кузова вагона с теплоизоляцией при использовании физической модели	70
<i>Сорока О.О.</i> Аналіз методів діагностики земляного полотна. Їх переваги та недоліки	75
<i>Сущенко І.П.</i> Модернізація кабіни машиніста електровозів ВЛ11М.....	81
<i>Тарасюк В.М.</i> Просочувальні матеріали для ізоляції обмоток тягових електричних машин	86
<i>Чистяков В.В., Шургея А.Г., Гудіменко К.В., Дорошенко О.Ю.</i> Комплексна домішка для модифікації бетонів транспортного будівництва	91

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

<i>Андрейцев А.Ю., Смирнов І.В.</i> Моделювання та розрахунок температури частинок плакованого порошку Al_2O_3 при плазмовому напыленні.....	99
--	----

<i>Белевцова Н. Л.</i> Упруго-пластическое напряженное состояние оболочек вращения переменной жесткости в двух направлениях при неосесимметричных неизотермических процессах нагружения с учетом истории их протекания.....	104
<i>Крюков М.М.</i> Деформування біметалічних оболонок обертання в докритичній області.....	116
<i>Лобас Л.Г., Лобас Л.Г., Луїна Т.О.</i> Вплив асиметрії слідкувальної сили на рух перевернутого подвійного математичного маятника	122
<i>Пугачов Г.С.</i> Вільні коливання механічної системи з двома степенями вільності при розгляді задач динаміки транспортних засобів	126

ІНФОРМАЦІЙНІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Калинюк І.О.</i> Методи організації реконфігурувальних обчислювальних контролерів та інформаційних технологій.....	131
<i>Наконечна С.В.</i> Вихідні теоретичні положення створення паралельних ієрарх-ієрархічних мереж	138
<i>Михно Н.Л.</i> Способы построения реконфигурируемых компьютерных систем на элементах автоматной памяти	146
<i>Самсонкин В. Н., Меркулов В. С.</i> Моделирование организационного механизма распределения ресурсов при решении задач технического нормирования	153

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

<i>Сорочинська О. Л.</i> Європейські стандарти у сфері охорони праці.....	165
<i>Прищепчук О.В.</i> Вибір оптимального рішення щодо впровадження швидкісного залізничного руху в систему пасажирських перевезень...177	177
<i>Ковальов В.В.</i> Система захисту інформації в локальних обчислювальних мережах.....	183
Автори статей випуску.....	188
" " " (oooooooooooooooooooooooooooo)	193

УДК 621.313.001.4

Андрей Афанасов

**РЕГУЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ ТЯГОВЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПРИ ИХ ВЗАИМНОМ НАГРУЖЕНИИ**

Приведены принципы регулирования магнитных потоков тяговых электрических машин при их испытании путем взаимной нагрузки с использованием одного источника электрической или механической мощности.

Приведені принципи регулювання магнітних потоків тягових електричних машин при їх випробуванні шляхом взаємного навантаження з використанням одного джерела електричної або механічної потужності.

Principles of adjusting of magnetic streams of hauling electric machines at their test by the mutual loading with the use of one source of electric or mechanical power are resulted.

Ключевые слова: электрическая машина, испытание, взаимная нагрузка, магнитный поток, регулирование.

В ряде схем взаимной нагрузки электрических машин постоянного тока используется принцип компенсации электрических потерь и потерь холостого хода путём создания небалансной электромагнитной мощности испытуемых генератора и двигателя [1].

При механическом способе компенсации электрических потерь этот принцип выражается в виде:

$$\sum \Delta P_{\text{э}} = P_{\text{эмг}} - P_{\text{эмд}}, \quad (1)$$

где $\sum \Delta P_{\text{э}}$ – суммарные электрические потери в стенде;

$P_{\text{эмг}}$ и $P_{\text{эмд}}$ – электромагнитные мощности испытуемых генератора и двигателя соответственно.

При электрическом способе компенсации потерь холостого хода такой баланс мощностей будет иметь вид:

$$\sum \Delta P_{\text{хх}} = P_{\text{эмд}} - P_{\text{эмг}}, \quad (2)$$

где $\sum \Delta P_{\text{хх}}$ – суммарные потери холостого хода в стенде.

Электромагнитные мощности испытуемых электромашин:

$$P_{\text{эмг}} = C \Phi_{\Gamma} \omega_{\Gamma} I_{\Gamma}, \quad (3)$$

© Афанасов А. М., 2011

$$P_{эмд} = C\Phi_d\omega_d I_d, \quad (4)$$

где C – конструктивная постоянная однопольных испытуемых электромашин;
 Φ_g, Φ_d – магнитные потоки генератора и двигателя соответственно;
 ω_g, ω_d – скорости вращения валов генератора и двигателя соответственно;
 I_g, I_d – токи якорей генератора и двигателя соответственно.
 Представим небалансную электромагнитную мощность в виде:

$$\Delta P_{эм} = P_{эмг} - P_{эмд}.$$

Тогда при механическом способе компенсации электрических потерь $\Delta P_{эм} > 0$, а при электрическом способе компенсации потерь холостого хода $\Delta P_{эм} < 0$.

При создании небалансной электромагнитной мощности путём регулирования магнитных потоков испытуемых электромашин целесообразно обеспечение условий равенства их частот вращения и токов якорей:

$$\omega_g = \omega_d = \omega; \quad (5)$$

$$I_g = I_d = I. \quad (6)$$

При этих условиях

$$\Delta P_{эм} = C\omega I \Delta\Phi, \quad (7)$$

где $\Delta\hat{O} = \hat{O}_g - \hat{O}_d$ – разница магнитных потоков генератора и двигателя.

Универсальная схема взаимного нагружения, с помощью которой могут быть реализованы рассматриваемые принципы компенсации потерь, приведена на рис. 1.

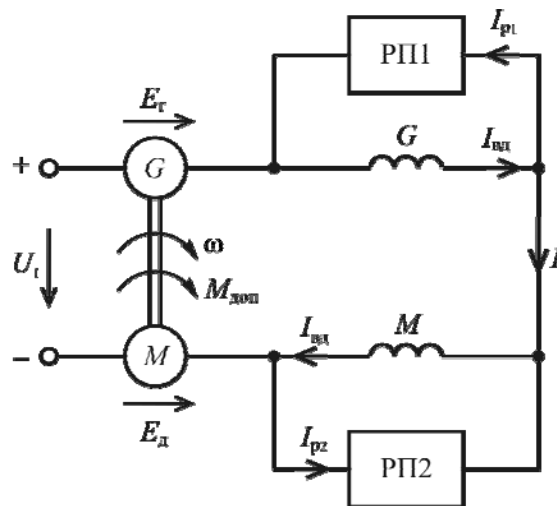


Рис. 1. Универсальная схема взаимного нагружения

Валы испытываемых генератора G и двигателя M соединены между собой. Обмотки якорей и возбуждения электромашин соединены в общую цепь последовательно.

Параллельно к обмотке возбуждения генератора G подключен регулятор поля РП1, а параллельно обмотке возбуждения двигателя M – регулятор поля РП2. Токи возбуждения $I_{вг}$, $I_{вд}$, токи регуляторов поля $I_{р1}$, $I_{р2}$ и ток якорей электромашин I связаны между собою уравнениями Кирхгофа:

$$I_{вг} = I + I_{р1}; \quad (8)$$

$$I_{вд} = I + I_{р2}. \quad (9)$$

Положительные направления токов $I_{р1}$ и $I_{р2}$ соответствуют режиму подпитки обмоток возбуждения от регуляторов РП1 и РП2.

К схеме подведено внешнее напряжение U_1 электрического источника. К валам испытываемых электромашин приложен дополнительный момент $M_{доп}$ механического источника.

При электрическом способе: $M_{доп} = 0$; $U_1 = var$. При механическом способе: $U_1 = 0$; $M_{доп} = var$. В принципе возможен и смешанный способ: $M_{доп} = var$, $U_1 = var$, который является малоцелесообразным с точки зрения энергетической эффективности [2].

По схеме, приведенной на рис.1, возможны четыре основных условия создания небалансной электромагнитной мощности, каждому из которых будет соответствовать свой режим регулирования поля испытываемых электромашин.

Режим 1:

$$\begin{cases} I_{р1} > 0; \\ I_{р2} = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Режим 2:

$$\begin{cases} I_{р1} = 0; \\ I_{р2} < 0. \end{cases} \quad (11)$$

Режим 3:

$$\begin{cases} I_{р1} = 0; \\ I_{р2} > 0. \end{cases} \quad (12)$$

Режим 4:

$$\begin{cases} I_{р1} < 0; \\ I_{р2} = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Режимы 1 и 2 являются реализацией электрического, а режимы 3 и 4 – механического способов компенсации потерь.

Режимы 1 и 3 характерны подпиткой, а режимы 3 и 4 – отпиткой обмотки возбуждения одной из испытываемых электромашин.

Проведём качественный анализ двух основных вариантов регулирования поля без рассмотрения конкретных способов технических реализацией этих вариантов.

Вариант 1. Рассмотрим регулирование поля при постоянстве отношения тока возбуждения $I_{\text{в}}$ к току якоря I . Назовём это отношение коэффициентом возбуждения $k_{\text{в}}$.

$$k_{\text{в}} = \frac{I_{\text{в}}}{I} = \text{const}. \quad (14)$$

Для режима подпитки обмотки возбуждения $k_{\text{в}} > 1$, для режима отпитки – $k_{\text{в}} < 1$. При токе регулятора поля, равном нулю, $k_{\text{в}} = 1$.

Будем считать известной зависимость магнитного потока электромашинного последовательного возбуждения от тока якоря $\Phi_{\text{о}}(I)$ при условии равенства тока возбуждения $I_{\text{в}}$ току якоря I ($k_{\text{в}} = 1$). Тогда в общем случае зависимость магнитного потока Φ электромашин от тока якоря I для режимов, при которых $k_{\text{в}} \neq 1$, будет иметь вид:

$$\Phi(I) = \Phi_{\text{о}}(k_{\text{в}} \cdot I). \quad (15)$$

Разница магнитных потоков генератора и двигателя в общем виде будет определяться как:

$$\Delta\Phi = \Phi_{\text{о}}(k_{\text{вг}} \cdot I) - \Phi_{\text{о}}(k_{\text{вд}} \cdot I). \quad (16)$$

где $k_{\text{вг}}$, $k_{\text{вд}}$ – коэффициенты возбуждения генератора и двигателя соответственно.

$$k_{\text{вг}} = \frac{I_{\text{вг}}}{I}; \quad (17)$$

$$k_{\text{вд}} = \frac{I_{\text{вд}}}{I}. \quad (18)$$

На рис. 2 зависимости магнитного потока электромашин от тока якоря приведены в графическом виде. Кривая $\Phi_{\text{о}}(I)$ соответствует режиму $k_{\text{в}} = 1$ (регулятор отключен), кривая $\Phi'(I)$ – режиму $k_{\text{в}} > 1$ (подпитка), а кривая $\Phi''(I)$ – режиму $k_{\text{в}} < 1$ (отпитка).

Кривые $\Phi'(I)$ и $\Phi''(I)$ представляют собой множество точек кривой $\Phi_{\text{о}}(I)$, смещённых влево и вправо соответственно, с изменением абсциссы I в $k_{\text{в}}$ раз.

На этом же рис. 2 приведены кривые зависимости $\Delta\Phi(I)$, качественно соответствующие четырем режимам регулирования поля: $\Delta\Phi_1(I)$ (режим 1); $\Delta\Phi_2(I)$ (режим 2); $\Delta\Phi_3(I)$ (режим 3); $\Delta\Phi_4(I)$ (режим 4).

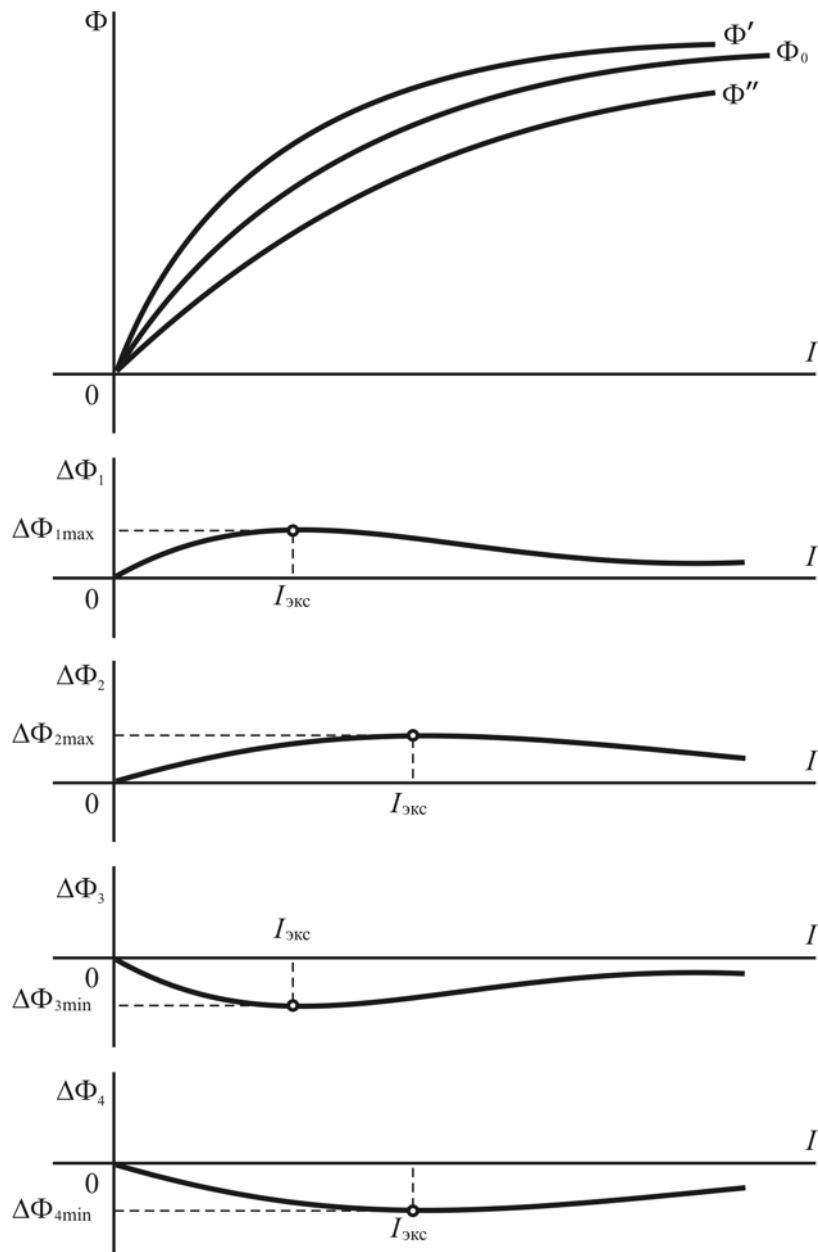


Рис. 2. Зависимости разниц магнитных потоков от тока якоря

Экстремум функции $\Delta\Phi(I)$ может быть найден из условия:

$$\frac{d\Delta\Phi}{dI} = 0, \quad (19)$$

или с учетом выражения для $\Delta\Phi$ (16):

$$\frac{d\Phi_o(k_{\text{вг}}I)}{dI} = \frac{d\Phi_o(k_{\text{вд}}I)}{dI}. \quad (20)$$

Количественная оценка зависимости $\Delta\Phi(I)$ требует либо табличной, либо аналитической формы записи характеристики $\Phi_o(I)$. Известен целый ряд аналитических выражений кривой намагничивания электрических машин, наилучшее приближение из которых дает выражение [3]:

$$\Phi_o = A \cdot \text{arctg}(B \cdot I), \quad (21)$$

где A, B – постоянные коэффициенты.

С учётом (21) выражение (16) принимает вид:

$$\Delta\Phi(I) = A \left[\text{arctg}(Bk_{\text{вг}}I) - \text{arctg}(Bk_{\text{вд}}I) \right]. \quad (22)$$

Используя выражение (20), найдем точку экстремума функции $\Delta\Phi(I)$ в общем виде:

$$I_{\text{экс}} = \frac{1}{B\sqrt{k_{\text{вг}} \cdot k_{\text{вд}}}}; \quad (23)$$

$$\Delta\Phi_{\text{экс}} = A \left[\text{arctg}\sqrt{\frac{k_{\text{вг}}}{k_{\text{вд}}}} - \text{arctg}\sqrt{\frac{k_{\text{вд}}}{k_{\text{вг}}}} \right]. \quad (24)$$

При условии $k_{\text{вд}} = 1$ (режимы 1 и 4):

$$I_{\text{экс}} = \frac{1}{\sqrt{k_{\text{вг}}}}; \quad (25)$$

$$\Delta\Phi_{\text{экс}} = A \left[\text{arctg}\sqrt{k_{\text{вг}}} - \text{arctg}\sqrt{\frac{1}{k_{\text{вг}}}} \right]. \quad (26)$$

При условии $k_{\text{вг}} = 1$ (режимы 2 и 3):

$$I_{\text{экс}} = \frac{1}{\sqrt{k_{\text{вд}}}}; \quad (27)$$

$$\Delta\Phi_{\text{экс}} = A \left[\text{arctg}\sqrt{\frac{1}{k_{\text{вд}}}} - \text{arctg}\sqrt{k_{\text{вд}}} \right]. \quad (28)$$

Необходимо отметить, что при определённых параметрах испытуемых электромашин система взаимного нагружения с механическим способом компенсации

электрических потерь на интервале изменения тока ($0; I_{\text{экс}}$) может быть электрически неустойчивой.

Вариант 2. Рассмотрим регулирование поля при постоянстве разницы тока возбуждения $I_{\text{в}}$ и тока якоря I . Эта разница представляет собой ток регулятора поля $I_{\text{р}}$

$$I_{\text{р}} = I_{\text{в}} - I = \text{const} . \quad (29)$$

Для режима подпитки обмотки возбуждения $I_{\text{р}} > 0$, для режима отпитки – $I_{\text{р}} < 0$. При отключенном регуляторе поля $I_{\text{р}} = 0$.

Также как и в первом варианте будем считать известной зависимость $\Phi_0(I)$, соответствующую условию $I_{\text{в}} = I$.

В общем случае зависимость магнитного потока Φ электромашин от тока якоря I для режимов, при которых $I_{\text{р}} \neq 0$, будет иметь вид

$$\Phi(I) = \Phi_0(I + I_{\text{р}}) . \quad (30)$$

Разница магнитных потоков генератора и двигателя в общем виде будет определяться как:

$$\Delta\Phi = \Phi_0(I + I_{\text{р1}}) - \Phi_0(I + I_{\text{р2}}) . \quad (31)$$

На рис. 3 зависимости магнитного потока от тока якоря приведены в графическом виде. Кривая $\Phi_0(I)$ соответствует режиму $I_{\text{р}} = 0$ (регулятор отключен), кривая $\Phi'(I)$ – режиму $I_{\text{р}} > 0$ (подпитка), кривая $\Phi''(I)$ – режиму $I_{\text{р}} < 0$ (отпитка).

Кривые $\Phi'(I)$ и $\Phi''(I)$ представляют собой множество точек кривой $\Phi_0(I)$, смещённых влево и вправо соответственно на величину $|I_{\text{р}}|$.

На этом же рис. 3 приведены кривые зависимости $\Delta\Phi(I)$, качественно соответствующие четырём режимам регулирования поля: $\Delta\Phi_1(I)$ (режим 1); $\Delta\Phi_2(I)$ (режим 2); $\Delta\Phi_3(I)$ (режим 3); $\Delta\Phi_4(I)$ (режим 4).

Экстремум функции $\Delta\Phi(I)$ может быть найден из условия:

$$\frac{d\Delta\Phi}{dI} = 0 \quad (32)$$

или с учетом выражения $\Delta\Phi(I)$ (31)

$$\frac{d\Phi_0(I + I_{\text{р1}})}{dI} = \frac{d\Phi_0(I + I_{\text{р2}})}{dI} . \quad (33)$$

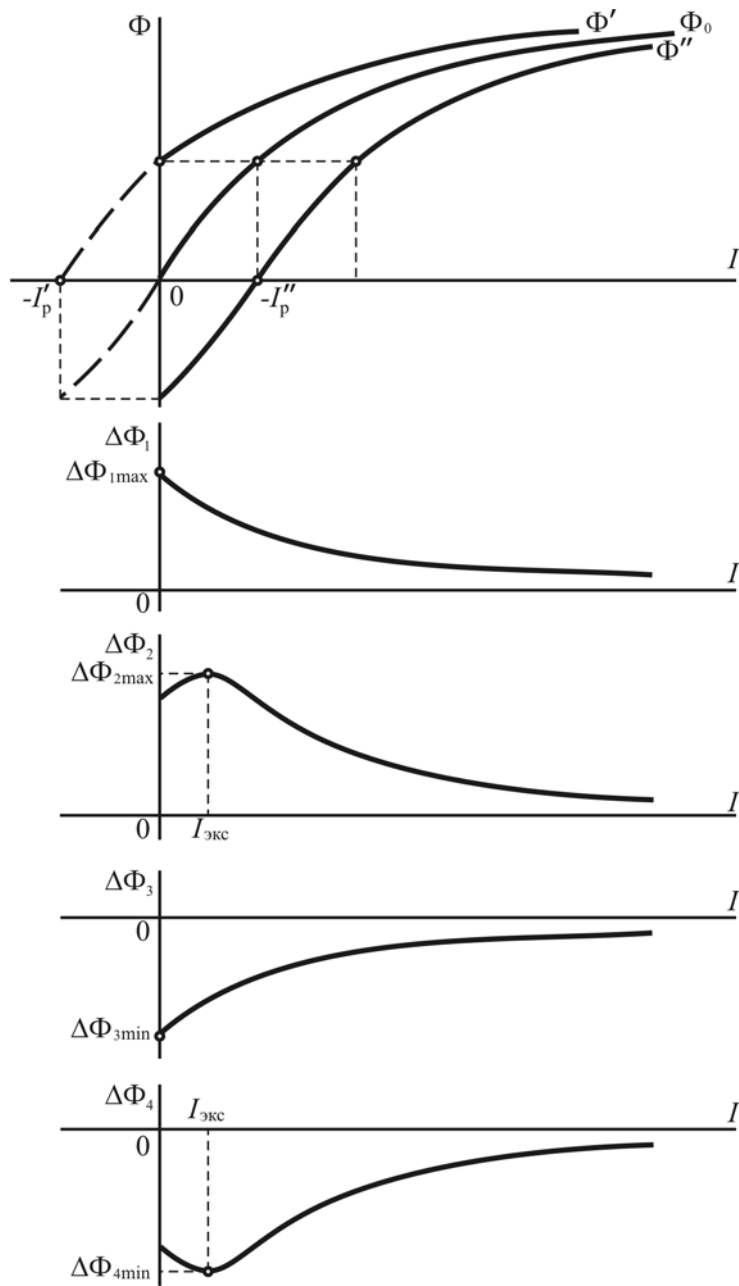


Рис. 3. Зависимости разниц магнитных потоков от тока якоря

Экстремумы функций $\Delta\Phi_1(I)$ и $\Delta\Phi_3(I)$ находятся вне границ отрезка изменения тока $I \in (0; +\infty)$, обеспечивающего взаимного нагрузку электромашин. Максимальное значение $\Delta\Phi_1$ и минимальное $\Delta\Phi_3$ на отрезке $I > 0$ (режимы 1 и 3):

$$\Delta\Phi_{1max} = \Delta\Phi_1(0); \quad (34)$$

$$\Delta\Phi_{3\min} = \Delta\Phi_3(0). \quad (35)$$

Для количественной оценки зависимости $\Delta\Phi(I)$ будем использовать ту же аналитическую зависимость $\Phi_0(I)$, что и в первом варианте. Тогда:

$$\Delta\Phi(I) = A \left[\operatorname{arctg} B(I + I_{p1}) - \operatorname{arctg} B(I + I_{p2}) \right]. \quad (36)$$

Из условия (19), используя выражение (33), найдем точку экстремума функции $\Delta\Phi(I)$ в общем виде:

$$I_{\text{экс}} = -\frac{I_{p1} + I_{p2}}{2}; \quad (37)$$

$$\Delta\Phi_{\text{экс}} = A \left[\operatorname{arctg} \frac{B}{2}(I_{p1} - I_{p2}) - \operatorname{arctg} \frac{B}{2}(I_{p2} - I_{p1}) \right]. \quad (38)$$

Для режима 1 ($I_{p1} > 0$; $I_{p2} = 0$):

$$\Delta\Phi_{1\max} = \Delta\Phi_1(0) = A \cdot \operatorname{arctg}(BI_{p1}). \quad (39)$$

Для режима 3 ($I_{p1} = 0$; $I_{p2} > 0$):

$$\Delta\Phi_{3\min} = \Delta\Phi_3(0) = -A \cdot \operatorname{arctg}(BI_{p2}). \quad (40)$$

Для режима 2 ($I_{p1} = 0$; $I_{p2} < 0$):

$$I_{\text{экс}} = -\frac{I_{p2}}{2}; \quad (41)$$

$$\Delta\Phi_{2\max} = 2A \cdot \operatorname{arctg} \left(B \frac{I_{p2}}{2} \right). \quad (42)$$

Для режима 4 ($I_{p1} < 0$; $I_{p2} = 0$):

$$I_{\text{экс}} = -\frac{I_{p1}}{2}; \quad (43)$$

$$\Delta\Phi_{4\min} = -2A \cdot \operatorname{arctg} \left(B \frac{I_{p1}}{2} \right). \quad (44)$$

Достаточный практический интерес представляет собой возможность определения значений коэффициентов $k_{\text{вг}}$ и $k_{\text{вд}}$ (вариант 1) или токов I_{p1} , I_{p2} (вариант 2),

обеспечивающих необходимую небалансную электромагнитную мощность $\Delta P_{эм}$ или разницу потоков $\Delta\Phi$.

Решая уравнение (22) относительно $k_{вг}$ при условии $k_{вд} = 1$ и относительно $k_{вд}$ при условии $k_{вг} = 1$, получим:

$$k_{вг} \Big|_{k_{вд} = 1} = \frac{BI + \operatorname{tg}\left(\frac{\Delta\Phi}{A}\right)}{BI \left[1 - \operatorname{tg}\left(\frac{\Delta\Phi}{A}\right)BI\right]}; \quad (45)$$

$$k_{вд} \Big|_{k_{вг} = 1} = \frac{BI - \operatorname{tg}\left(\frac{\Delta\Phi}{A}\right)}{BI \left[1 + \operatorname{tg}\left(\frac{\Delta\Phi}{A}\right)BI\right]}. \quad (46)$$

Решая уравнение (35) относительно I_{p1} при условии $I_{p2} = 0$ и относительно I_{p2} при условии $I_{p1} = 0$, получим:

$$I_{p1} \Big|_{I_{p2} = 0} = \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\Delta\Phi}{A}\right) \cdot (1 + B^2 I^2)}{B \left[1 - BI \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\Delta\Phi}{A}\right)\right]}; \quad (47)$$

$$I_{p2} \Big|_{I_{p1} = 0} = -\frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\Delta\Phi}{A}\right) \cdot (1 + B^2 I^2)}{B \left[1 + BI \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\Delta\Phi}{A}\right)\right]}. \quad (48)$$

Использование полученных аналитических выражений позволит решить задачу выбора оптимальной структуры испытательной системы, обеспечивающей минимум затрат на выполнение программы приемосдаточных испытаний ТЭД.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Афанасов А. М.* Электромеханические принципы обеспечения взаимной нагрузки электрических машин постоянного тока [Текст] / А. М. Афанасов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 27. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 42-46.
2. *Афанасов А. М.* Энергетические принципы обеспечения взаимной нагрузки электрических машин постоянного тока [Текст] / А. М. Афанасов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 34-38.
3. *Архангельский Б.И.* Аналитическое выражение кривой намагничивания электрических машин // Электричество. – 1950. №3. – С.30-32.

УДК 625

Ольга Бамбура

ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕХІДНИХ КРИВИХ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ЗАЛІЗНИЦЬ

Залізничному транспорту належить провідна роль у перевізних процесах України. Залізниця пов'язує в єдине ціле всі області та райони країни, забезпечує потреби населення державних та комерційних організацій у перевезеннях. Від якості колії залежить безпека та швидкість руху. Особливу роль у взаємодії колії та рухомого складу відіграє перехідна крива, яка забезпечує плавність переходу від прямолінійної ділянки колії до кругової. В даній роботі розглядається використання математичних кривих як перехідні.

Железнодорожному транспорту принадлежит ведущая роль в перевозочных процессах Украины. Железная дорога связывает в единое целое все области и районы страны, обеспечивает потребности населения государственных и коммерческих организаций в перевозках. От качества пути зависит безопасность и скорость движения. Особую роль во взаимодействии пути и подвижного состава играет переходная кривая, которая обеспечивает плавность перехода от прямолинейного участка пути к круговому. В данной работе рассматривается использование математических кривых в качестве переходных.

Rail transport plays a leading role in the transport processes in Ukraine. Rail links into the whole area and all areas of the country, provides the necessities of the population of state and commercial organizations in traffic. The quality of track depends on the safety and speed. Special role in the interaction of track and rolling stock has a transition curve that ensures smooth transition from straight track to a circular area. In this paper the use of mathematical curves as a transitional.

Ключові слова: перехідна крива, кругова крива, кубічна парабола, клоотоїда.

Швидкість перевезень – головна мета транспортної політики, яка успішно реалізується у багатьох європейських країнах. На даному етапі розвитку залізничного транспорту в Україні проводиться посилена робота з модернізації залізничних ліній для введення швидкісного руху поїздів [1]. При будівництві залізниць враховуються всебічні теоретичні та експериментальні дослідження, економічні обґрунтування, питання комфортабельності та безпеки перевезення пасажирів і реальність економії від капітальних витрат. У цьому аспекті важливо зважити і глибоко проаналізувати всі фактори, що дозволяють знайти шляхи до

© Бамбура О. В., 2011

підвищення швидкостей. Одним з таких факторів є геометричні параметри криволінійних ділянок залізничних ліній. Адже такі параметри як величина і форми перехідних кривих істотно впливають на впровадження високих швидкостей. Наявність криволінійних ділянок спонукає машиністів на деяких перегонах значно знижувати швидкість руху.

Основна задача перехідних кривих полягає в забезпеченні вимоги неперервної зміни кривизни траєкторії від прямої ділянки до кривої і плавного зростання відцентрової сили в зоні переходу рухомого складу з прямої ділянки колії на криву [2]. Якщо прямолінійна ділянка траєкторії в точці O безпосередньо переходить в кругову траєкторію радіуса R_0 , то кривизна траєкторії в точці O змінюється стрибком (рис. 1).

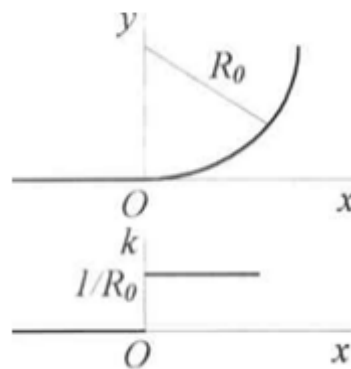


Рис. 1. Зміна кривизни траєкторії точки при переході з прямої ділянки на кругову

Це призводить до того, що й відцентрова сила змінюється стрибком. Якщо екіпаж моделювати (в певному наближенні) матеріальною точкою маси m , яка рухається зі швидкістю V вздовж траєкторії, радіус кривизни якої в даній точці є R , то в системі координат, незмінно зв'язаній з екіпажем, має певний сенс ввести умовну силу $F = \frac{mV^2}{R}$, яка дістала назву відцентрової сили. Ця сила також змінюється стрибком від нульового значення на прямолінійній ділянці до значення $F_0 = \frac{mV^2}{R_0}$ на круговій ділянці (рис. 2). Це спричиняє різкий і сильний поштовх, шкідливий як для екіпажу, так і для верхньої будови колії.

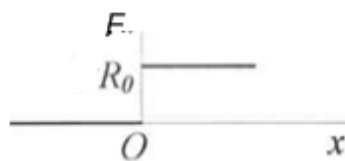


Рис. 2. Зміна відцентрової сили при переході з прямої ділянки на кругову

Щоб уникнути цього, прямолінійну ділянку сполучають з круговою за допомогою кривої OM , вздовж якої радіус R кривизни поступово зменшується від нескінченного значення в точці O стику з прямолінійною ділянкою до величини радіуса R_0 кола в точці M стику з дугою кола. Така крива і називається перехідною кривою (рис. 3).

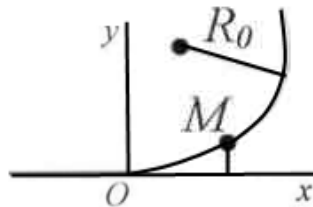


Рис. 3. Схематичне зображення перехідної кривої

Прийmemo такі позначення (рис. 4):

K – довільна точка перехідної кривої;

$S = \overset{\frown}{OK}$ – дугова координата точки K ;

x, y – Декартові прямокутні координати точки K ;

Q – центр кривизни перехідної кривої в точці K ;

θ – кут повороту перехідної кривої в точці K (він же є і курсовим кутом);

$L = \overset{\frown}{OM}$ – довжина перехідної кривої;

N – центр кола радіуса R_0 , яке з'єднується з перехідною кривою.

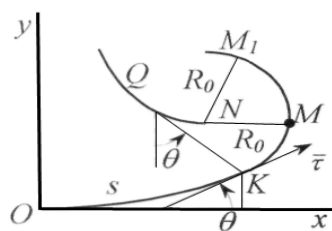


Рис. 4.

При цьому кут повороту кривої в точці K називається кут повороту дотичної до кривої в точці K при зміщенні вздовж кривої від початкової точки до точки K .

Оскільки далі як початкова точка виступає точка O стику перехідної кривої з прямолінійною ділянкою, дотична до якої (тобто до перехідної кривої) горизонтальна, то кут повороту кривої дорівнює куту θ нахилу кривої до осі абсцис.

На даний час добре вивчені властивості багатьох математичних кривих, які можуть бути використані в якості перехідних кривих. Розглянемо більш детально дві з них: кубічну параболу, клотоїду.

Найперший докладний, ґрунтовний математичний аналіз перехідних кривих для залізничних трас виконаний Г.В. Ельфівим [4]. Детальний сучасний огляд перехідних кривих залізничної колії зробив В.В. Лагута [5].

Перевагами **кубічної параболі** як перехідної кривої є простота технічних формул. Вона звичайно використовується на залізничних магістралях.

Розглянемо рівняння:

$$y = \frac{x^3}{6c} . \quad (1)$$

Із загальної формули для радіуса кривизни кривої лінії

$$R = \frac{\sqrt{(1 + y_x'^2)^3}}{|y_x''|} \quad (2)$$

На підставі (2) отримуємо:

$$R = \frac{c}{x} \sqrt{\left(1 + \frac{x^4}{4c^2}\right)^3} \quad (3)$$

Лише при дуже малих значеннях x порівняно з параметром c можна відзначити що:

$$R \approx \frac{c}{x}$$

Саме ця наближена рівність широко застосовується при трасуванні місцевості для розбивки залізничних магістралей.

Довжина дуги:

$$s = \int \sqrt{1 + y_x'^2} dx ; \quad (4)$$

для кубічної параболі (1) має вигляд:

$$s = \int_0^x \sqrt{1 + \frac{x^4}{4c^2}} dx . \quad (5)$$

З рівності (5) випливає $s \approx x$, тобто

$$Rs = c . \quad (6)$$

Оскільки функція $R(s)$ для кубічної параболі не виражається в скінченному вигляді, то тим більше такою ж буде і функція $\theta(s)$.

$$\frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{R} . \quad (7)$$

Із (6) маємо:

$$R \approx \frac{c}{s}$$

Тому

$$d\theta \approx \frac{s}{c} ds, \quad \theta \approx \frac{s^2}{2c} \approx \frac{x^2}{2c} . \quad (8)$$

Отриманий наближений вираз функції $\theta(s)$ узгоджується з її точним виразом

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{x^2}{2c} . \quad (9)$$

Кубічна парабола в початку координат дотикається осі абсцис і має нульову кривизну:

$$y'_x|_{x=0} = 0, \quad R|_{x=0} = +\infty$$

При зростанні абсцис x точок кубічної параболи кривизна $k = \frac{1}{R}$ спочатку збільшується, а потім зменшується тобто функція $R(x)$ має мінімум R' при x' .

У точці x' кут повороту кубічної параболи (1) становить

$$\theta' = \operatorname{arctg} \sqrt{2} \approx 24^\circ 06'$$

Таким чином кубічну параболу як перехідну криву доцільно застосовувати при кутах повороту, які не перевищують $\approx 24^\circ 06'$

Найбільшого поширення набула *клотоїда*, яка являє собою спіраль, що поступово закручується.

Клотоїда – плоска трансцендентна крива, натуральне рівняння якої має вигляд:

$$Rs = c . \quad (10)$$

Для параметра c натурального рівняння клотоїди з рис.4 і рівняння (10) одержуємо значення $c = R_0 L$, тобто радіус R клотоїди в точці з дуговою координатою s зв'язаний з радіусом R_0 кола, що з'єднується з клотоїдою, і довжиною клотоїди співвідношенням:

$$Rs = R_0 L$$

Якщо систему координат вибрати так, щоб клотоїда дотикалась осі абсцис в початку координат і відлік довжин дуг вести від початку координат, то із (7) і (10) інтегруванням знаходимо

$$\theta = \frac{s^2}{2c} . \quad (11)$$

Використаємо формули диференціальної геометрії:

$$\frac{dx}{ds} = \cos \theta, \quad \frac{dy}{ds} = \sin \theta . \quad (12)$$

Звідси маємо:

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \theta$$

Підставивши (11) в (12), одержуємо диференціальні рівняння клотоїди, в яких незалежною змінною є дугова координата s точок:

$$\frac{dy}{ds} = \cos \frac{s^2}{2c}, \quad \frac{dy}{ds} = \sin \frac{s^2}{2c}. \quad (13)$$

Проінтегруємо систему (13). З описаного вище вибору системи декартових координат випливають такі початкові умови:

$$x|_{s=0} = 0, \quad y|_{s=0} = 0 \quad (14)$$

Задача Коші (13) – (14) має розв’язок

$$x = \int_0^s \cos \frac{s^2}{2c} ds, \quad y = \int_0^s \sin \frac{s^2}{2c} ds \quad (15)$$

Якщо в (18) ввести змінну інтегрування θ замість змінної s , скориставшись залежністю між ними (11) і співвідношеннями

$$s = \sqrt{2c\theta}, \quad ds = \frac{c}{s} d\theta = \sqrt{\frac{c}{2}} \frac{d\theta}{\sqrt{\theta}},$$

то отримаємо параметричні рівняння клотоїди, в яких параметром виступає кут θ :

$$x = \sqrt{\frac{c}{2}} \int_0^\theta \frac{\cos \theta}{\sqrt{\theta}} d\theta, \quad y = \sqrt{\frac{c}{2}} \int_0^\theta \frac{\sin \theta}{\sqrt{\theta}} d\theta. \quad (16)$$

Інтеграли (15) і (16) не виражаються в скінченному вигляді через елементарні функції, але їхні значення відомі для $\theta = +\infty$:

$$\int_0^{+\infty} \frac{\cos \theta}{\sqrt{\theta}} d\theta = \int_0^{+\infty} \frac{\sin \theta}{\sqrt{\theta}} d\theta = \frac{\pi}{2}$$

При $\theta \in [0, +\infty)$ клотоїда виходить з початку координат, дотикаючись у ньому осі Ox , а потім асимптотично обвивається навколо точки $A\left(\frac{\sqrt{\pi c}}{2}, \frac{\sqrt{\pi c}}{2}\right)$, нескінченну кількість обертів. Крива симетрична відносно початку координат, який являє собою точку перегину, тому точка B координати:

$$x_B = -\frac{\sqrt{\pi c}}{2}, \quad y_B = -\frac{\sqrt{\pi c}}{2} \quad (\text{рис. 5}).$$

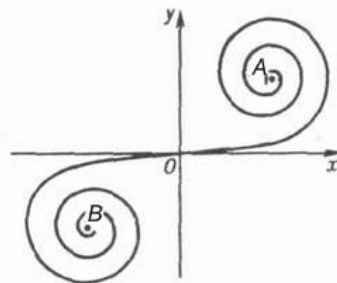


Рис. 5. Клотоїда

Представимо рівняння (15) і (16) у вигляді степені рядів, знаки членів яких чергуються і які збігаються на всій числовій осі:

$$\begin{cases} x = s \left(1 - \frac{s^4}{40c^2} + \dots \right), \\ y = \frac{s^3}{6c} \left(1 - \frac{s^4}{56c^2} + \dots \right); \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} x = \sqrt{2c\theta} \left(1 - \frac{\theta^2}{5 \cdot 2!} + \dots \right), \\ y = \frac{\sqrt{2c}}{3} \theta \left(1 - \frac{\theta^2}{7 \cdot 2!} + \dots \right) \end{cases} \quad (18)$$

У геодезичній практиці трасування доріг використовується початкова дуга клотоїди довжиною L з максимальним кутом повороту $\theta_{\max} = \frac{L^2}{2c}$.

Ці дві криві при дуже малих кутах повороту дуже близькі між собою. Зі збільшенням полярного кута φ довжина кубічної параболи зростає швидше, ніж довжина клотоїди. Радіус кривизни найшвидше зменшується у клотоїди і найповільніше – кубічної параболи [3].

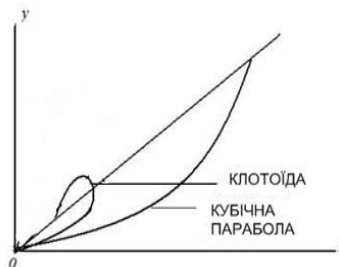


Рис. 6.

Практично всі види перехідних кривих можуть застосовуватися при трасуванні, але завжди з дотриманням нормативних вимог безпеки та зручності руху. Саме остання обставина вимагає скрупульозного аналізу застосування кривої в кожному конкретному випадку.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Кірна Г. М.* Інтеграція залізничного транспорту України у європейську транспортну систему: Монографія. – Д.: Видавництво Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 248 с.

2. *Даніленко Е. І.* Залізнична колія / Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом / Підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х томах). – Київ: Інпрес, 2010. – Том 1. – 528 с.
3. *Мартынюк А. А., Лобас Л. Г., Никитина Н. В.* Динамика и устойчивость движения колесных транспортных машин. – Киев: Техника, 1981. – 223 с.
4. *Ельфимов Г.В.* Теория переходных кривых. – М.: Трансжелдориздат, 1948.
5. *Лагута В.В.* Совершенствование проектирования кривых железнодорожного пути в плане/ Автореферат диссертации на соискан. степени канд. техн. наук. – Днепропетровск, ДИИТ, 2002.

УДК 528.482

Анатолій Возненко

**ДОСВІД ЗАРУБІЖНИХ КРАЇН В ПРОВЕДЕННІ
КОЛІЄВИМІРЮВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ БУДІВНИЦТВІ
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ**

Розглянуті питання пов'язані з виконанням комплексу геодезичних робіт з визначення основних параметрів колії та прилеглих споруд з використанням інтелектуальних колієвимірювальних візків (ІКВ), розроблених фірмами Швейцарії, Німеччини. Наведено приклад комплектування базової моделі та технологія виконання вимірювань.

Рассмотренные вопросы связанные с производством комплекса геодезических работ по определению главных параметров пути и прилегаемых сооружений используют интеллектуальные измерительные тележки (ИИТ), произведенные фирмами Швейцарии и Германии. Приведен пример комплектования базовой модели и технологии производства измерений.

Issues discussed included using complex GEODESIC works on defining the main parameters that way and adjacent structures using Intelligent measuring bogies (IPT), produced by Switzerland and Germany. Is an example of an acquisition of a basic model and production technology of measurement.

Ключові слова: залізнична колія, геодезичні вимірювання, колієвимірювальні візки, далекомір, зйомка.

Швидкості руху поїздів на залізницях постійно зростають. Так, в країнах Європейського Союзу курсують міжнародні поїзди зі швидкістю 200-280 км/год. Такі самі потяги Deutsche Bahn ходять по всій Німеччині. В Іспанії активно будують залізниці, на яких потяги будуть розвивати швидкість до 270-300 км/год. В КНР, Республіці Корея та на Тайвані швидкість потягів уже зараз – 300 км/год. Така сама швидкість досягнута і в Європі – на магістралі Лондон – Євротунель – Париж (на окремих ділянках), Франкфурт – Кельн, Мюнхен – Нюрберг і на багатьох ділянках залізниць у Франції. В 2011 році Китай ввів в експлуатацію сім дільниць для руху зі швидкістю 350 км/год загальною протяжністю більше, ніж 1400 км.

Високошвидкісні магістралі можуть створюватися:

- 1) шляхом будівництва самостійних швидкісних ліній (як в Японії, Франції, КНР, Турції);
- 2) при збільшенні швидкості руху по напрямках, які складаються із декількох швидкісних ділянок (як в Німеччині, Іспанії, Великобританії);

© *Возненко А. Д., 2011*

3) шляхом реконструкції діючих залізниць – випрямленням кривих, реконструкції і часткової заміни баластних призм, перебудовою роздільних пунктів та ін.

У всіх вкладках виконується комплекс геодезичних робіт, однак види вимірювань в кожному випадку відрізняються. Єдиним залишаються високі вимоги до геодезичного забезпечення колієвимірювальних робіт. При виконанні даних вимірювань широке впровадження отримали інтелектуальні колієвимірювальні візки (ІКВ).

ІКВ – це нове слово в практиці вимірів на залізниці. Перші з таких пристроїв з'явилися 15 років тому, але були не досконалими, не забезпечували необхідної точності вимірів по висоті та в плані, що викликало справедливую критику з боку спеціалістів-залізничників. Враховуючи зауваження та досягнення науково-технічного прогресу були розроблені більш точні профілографи та одометри для візків.

GPS-системи в багатьох випадках забезпечують 3 – 4 міліметрову точність вимірів, завдяки удосконаленню приладів і наземної інфраструктури всієї системи, а лазерні далекоміри гарантують ще більшу точність вимірів. Як правило, такий пристрій являє собою раму на невеликих колесах, що переміщається по рейкам вручну. На рамі встановлено вимірювальне обладнання, реєструючий пристрій, блок пам'яті, призмовідбивач або роверний GPS-приймач та бортовий комп'ютер з дисплеєм.

Сучасні колієвимірювальні візки випускаються фірмами:

- Amberg Technologies AG (Швейцарія) – візки марки Amberg GRP;
- Terra Vermessunger AG (Швейцарія) – візки марки Swiss Trolley;
- Geo-Metrik AG (Німеччина) – візки марки Tachy Rail.

Amberg найбільш придатний для роботи в комплексі з тахеометрами Leica TPS, а версії для GPS-позиціонування комплектуються приймачами Leica GP 500 або GPSI 200. Swiss Trolley використовуються при роботі з обладнанням Trimble. При тахеометричній зйомці можуть бути використані й інші сучасні моделі приладів практично всіх виробників.

Спрощені моделі ІКВ для вимірів тільки ширини колії і перевищень між рейками виробляють деякі російські, чеські, китайські, швейцарські виробники.

Найширшого застосування на залізницях набув ІКВ Amberg GRP. Основними елементами його є:

1. Датчик ширини колії. Точність вимірювань $\pm 0,3$ мм, діапазон вимірювань від -25 мм до $+65$ мм при номінальній ширині колії.
2. Датчик поперечного ухилу. Служить для вимірів підвищення однієї рейкової нитки над іншою. Точність вимірів $\pm 0,5$ мм при номінальній ширині колії.
3. Одометр. Прилад, який переводить пройдений шлях в показники, які записуються в блок пам'яті і відображаються на індикаторі.
4. Призма-відбійник на кронштейні та додатково закріпленій на кронштейні лазерний далекомір (постачається в модифікаціях GPR 3000). Далекомір роботизований, діапазон вимірів від $0,3$ до 30 м, точність $\pm 1,5$ мм.
5. Роверний GPS-приймач, супутникова антена на мачті, антена радіомодема та інша комплектація, що постачається в системах Leica GPS 1200 та GPS 500;
6. Бортовий комп'ютер, блок пам'яті та дисплей.
7. GRP Fidelity – юстирувальний комплект, призначений для систематичної перевірки закладених в систему допусків.

8. Лазерний сканер.

Колієвимірювальний візок Amberg випускається в чотирьох варіантах. Залежно від комплектації вони можуть проводити виміри не лише геометрії колії, а і знаходити відстань до поверхні баласту, автоматично розраховують ухил колії, знаходять відстань до об'єктів, розташованих вздовж колії – опор контактної мережі, світлофорів, виступів платформ, елементів ферм мостів, ліхтарів тощо. Системи можуть використовуватися для вимірів перед підбивною колією. Отримані дані про геометрію колії можуть автоматично вводиться в бортовий комп'ютер шпалопідбивальної машини.

Найдорожчою версією ІКВ Amberg є Clearance Plus GPR 5000. Вона має всі можливості для вимірів і зйомок, як GPR 1000 і GPR 3000, а також укомплектована 3D-лазерним сканером Amberg Profiler 5002.

Робочий процес зйомки за допомогою ІКВ – це прохід по колії зі швидкістю до 3 км/год. з вимірами геометрії колії і зупинками через 2,5 – 8 м (або на кожній 4-й, 5-й, 7-й і т.д. шпалі) для фіксації місцезнаходження пристрою. На моніторі оператор бачить відносні відхилення від проектного положення в режимі реального часу. Дані оновлюються кожні 3 секунди.

Для розглянутих ІКВ розроблено відповідне програмне забезпечення, яке дозволяє розраховувати абсолютні координати та координати відносно прийнятої осі, будувати й аналізувати поздовжні профілі рейок, баласту, а також формувати файл для вводу в комп'ютер підбивальної машини.

Таким чином, використання ІКВ для проведення поточних геометричних вимірювань на залізницях дозволяє значно удосконалити процес зйомки та обробки інформації, підготовки необхідних даних для проведення колійних робіт. Крім того досягається значне підвищення точності вимірювань і оперативність проведення на їх основі профілактичних заходів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Левин Б. А., Круглов В. М., Матвеев С. И., Цветков В. Я., Коугня В. А. Геоинформатика транспорта. – М.: ВИНТИ, 2006.
2. Інформаційні матеріали компанії Thales (Франція), Amberg (Швейцарія), Sistem A.S (Турція).

УДК 656.2.358

*Володимир Данилевський
Лариса Сливовська*

**КОМПЛЕКСНА МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН
ТЯГОВОГО І МОТОРВАГОННОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО
СКЛАДУ**

У статті проведений аналіз технічного стану тягових електричних машин електрорухомого складу, визначені основні напрямки їх модернізації, а також ризики які виникають в процесі модернізації, на прикладі тягового двигуна ТЛ-2К електровозів постійного струму.

В статье проведен анализ технического состояния тяговых электрических машин электроподвижного состава, определены основные направления их модернизации, а также риски, которые могут возникать в процессе модернизации на примере тягового двигателя ТЛ-2К электровозов постоянного тока.

The article analyzed the technical condition of traction electrical machines Elektropodvizhnoy, identified key areas of modernization, and the risks that arise in the process of modernization on the example of the traction motor TL-2K electric DC.

Ключові слова: тягові двигуни, електровози, електричне поле, індукція, ризики, лінійне електричне навантаження, стандарти, осердя, повітряний проміжок, головні полюси.

Вступ

На магістральних коліях залізничного транспорту експлуатується тяговий і моторвагонний рухомий склад з електричною передачею:

- електровози постійного та змінного струмів;
- електровози подвійного живлення;
- тепловози;
- електропотяги;

- дизель потяги.

Тягову силу рухомого складу створюють тягові агрегати, які складються із тягових двигунів, колісних пар і передавального пристрою. Основою тягового агрегата є тяговий двигун, від надійної роботи якого залежить робота в цілому рухомого складу. Більшість тягових двигунів виготовлені в 1956-1990 роках минулого століття і за період експлуатації пройшли низку модернізацій та удосконалень конструкції. За останній час промисловість України, країн ЄС, Росії,

© Данилевський В. І., Сливовська Л. В., 2011

Китаю та США винайшли цілу низку нових конструкційних, електротехнічних та електроізоляційних матеріалів з класом нагрівостійкості Н і С, що дає можливість збільшити потужність і експлуатаційну надійність тягових двигунів і відповідно зменшити позапланові ремонти рухомого складу.

2. Вимоги до тягових двигунів

Відповідно до вимог ГОСТ 183-74 тягові двигуни працюють в режимі S1 при якому всі його частини досягають сталих значень своїх перегрівів. Номінальні дані двигуна (потужність, напруга, струм навантаження та частота обертання) даються в режимі S1.

Тяговий двигун отримує живлення від контактної мережі, тому за номінальну слід брати потужність часового режиму. Тягові двигуни належать до габариту 1 «б», тому відношення потужностей часового і тривалого режимів приймають 0,85-0,92. При конструюванні враховують той факт, що відповідно до вимог ГОСТ 2582-81 – «Машини електричні обертові тягові. Загальні технічні умови», тягові двигуни є двигунами граничного виконання, зокрема, через їхнє розміщення на візку електровоза, системи упору, схеми живлення, динамічні навантаження та атмосфери, в яких вони працюють. На електровозах постійного струму тягові двигуни з'єднані попарно-послідовно з неоптимальною для них напругою на колекторі 1500 В, що визначає рівень напруги, на яку має бути розрахована електрична ізоляція.

Згідно з ГОСТ 2582-81 тягові двигуни мають два номінальні режими роботи: часовий (короткотривалий) і тривалий, які відрізняються за потужністю на 7...9 %. Номінальні частоти обертання $n_{ном}$ становлять 700...900 хв⁻¹, а максимальні n_{max} досягають 1900...2000 хв⁻¹. Таким чином, швидкісний діапазон регулювання, що визначається коефіцієнтом $k = n_{max} / n_{ном} = 2,1...2,8$, дуже широкий. Ця обставина істотно впливає на збільшення габаритів і маси тягових двигунів.

Усі тягові двигуни працюють в умовах експлуатації, що відрізняються значною кількістю збурень і нестабільності, які до того ж мають широкі межі відхилень. Двигуни піддаються впливу зовнішніх динамічних сил, що виникають у процесі взаємодії ходової частини локомотива з рейками. Ці сили мають імпульсний характер, і їх рівень P_d оцінюється добутком динамічного прискорення a_g і маси t , що піддається дії сил, тобто $P_d = G \times a_g$, де G – маса, a_g – прискорення вільного падіння.

Важливо відмітити, що при опорно-осьовому підвішуванні $a_g = 10...15$, а при швидкостях руху вище 100 км/год відношення може досягти навіть значення 20...25. Означені динамічні дії впливають не тільки на окремі частини двигунів, але й на щітково-колекторний вузол, перешкоджаючи його нормальній роботі.

Повітря, яким охолоджуються тягові двигуни, надходить у вентиляційну систему через жалюзі кузова і з огляду на специфіку роботи локомотива містить пил, часто з металевими частками. Цей пил, осідаючи всередині двигуна, не лише погіршує тепловіддачу, але й призводить до перекирвання високою напругою на запиленій поверхні. Як показує досвід, концентрація пилу може досягати 30 мг/м³, а при хуртовинах може міститися 20...25 г/м³ снігу, причому уникнути таких забруднень неможливо.

Тягові двигуни практично безперервно працюють в граничних режимах, викликаних коливанням напруг у контактній мережі та змінами струмів, що споживаються, причому останні варіюють від $0,25/n_{ном}$ до $2/n_{ном}$, що призводить до ще більших коливань втрат потужності. Зміна напруг у контактних мережах постійного струму становить відповідно 2200...4000 В. Усі ці фактори створюють особливі вимоги до електричної та механічної міцності вузлів тягових двигунів. Ізоляція їх обмоток відносно корпусу

повинна витримувати випробну напругу $U=(2,25U +2000)$ В для двигунів, що отримують живлення від контактної мережі постійного струму, U дорівнює напрузі холостого ходу на колекторі двигуна. Механічна міцність перевіряється розгоном двигуна при холостому ході протягом 2 хв. до частоти обертання, що на 25 або 35 % перевищує максимальну частоту обертання.

При виготовленні й експлуатації будь-яких електричних машин у зв'язку з наявністю системи допусків на виготовлення деталей і вузлів, а також їх різним зносом неминуча розбіжність електромеханічних і механічних характеристик. ГОСТ 2582-81 допускає розбіжність швидкісних характеристик у точці номінального режиму, а це призводить до відповідної розбіжності струмів навантаження різних тягових двигунів, що працюють на одному локомотиві.

У двигунів з більшим струмом навантаження будуть більші витрати енергії, вища температура обмоток і, як наслідок, менший термін їх роботи.

Конструкція двигунів повинна задовольняти вимогам безпеки руху поїзда і, разом з тим, бути досить простою, щоб тягова машина була ремонтпридатною.

Найважливіший вплив на експлуатаційні властивості двигунів чинять їх магнітні характеристики, тобто залежність магнітного потоку Φ від магніторушійної сили (МРС) збудження F . Оскільки, як відомо, $E = C_e \omega \Phi$, де E – електрорушійна сила (ЕРС); C_e – стала; ω – частота обертання, то $E/\omega = c_e \Phi$. Отже, магнітна характеристика може бути подана як $E=\omega(F)$, а її вид визначається ступенем насичення або коефіцієнтом насичення $k_{нс}$, який є відношенням відносного спаду магнітного потенціалу в усьому магнітному колі $F_{ном}$ до відносного спаду магнітного потенціалу в повітряному проміжку F . Тобто чим вище значення $k_{нс}$, тим менші габарити й маса двигуна, але разом з тим, гірші його регульовальні властивості. Звичайно, щоб задовольнити ці суперечні вимоги, приймають $k_{нс} = 1,6.. 2,0$. При менших значеннях машина буде слабо-, а при більших – сильно насичена.

Економічність роботи тягових двигунів визначає їх ККД, який, у свою чергу, залежить від струмового й магнітного навантажень. Характеристикою цих навантажень є відповідно лінійне навантаження A і щільність струму в обмотці якоря, а також індукція B в повітряному проміжку. Чим вищі ці величини, тим менші розміри й маса двигуна, але нижчий і його ККД.

У тягових двигунах електровозів лінійні навантаження приблизно становлять $A = (400...500)10^2$ А/м, щільності струму в обмотках якорів $j = 6...8$ А/мм, а індукції в повітряному проміжку $B = 0,95.. 1,0$ Тл.

Добуток Aj , що називається тепловим фактором, характеризує струмове навантаження і визначається допустимою температурою для даного класу ізоляції.

3. Конструкція тягового двигуна

Тяговий двигун (на прикладі тягового двигуна ТЛ-2К) складається з остова (рис. 1), якоря 6, щіткового апарата 2 і підшипникових щитів 1, 4.

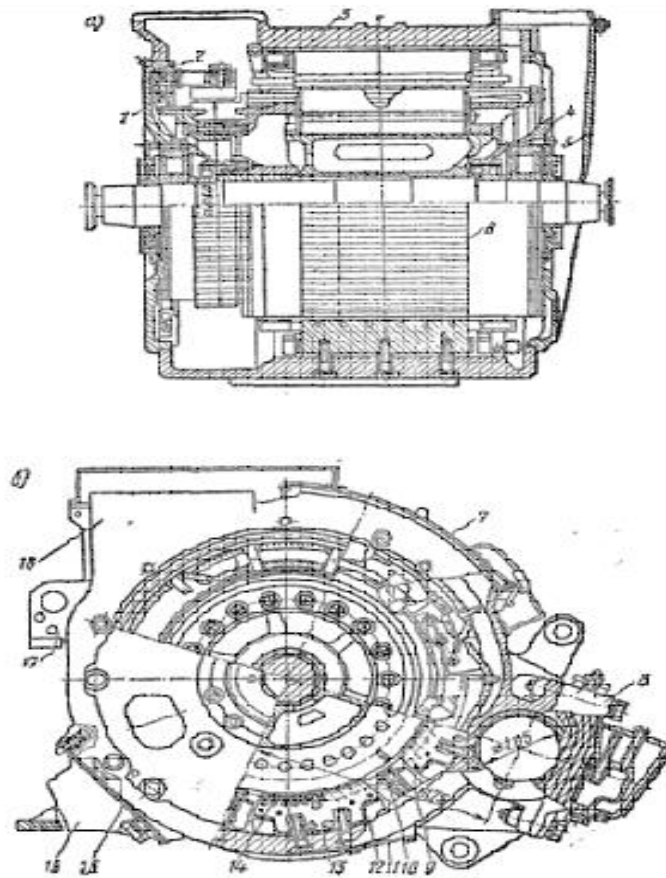


Рис. 1

Остов двигуна являє собою відливок зі сталі марки 25Л-2 циліндричної форми й служить одночасно магнітопроводом. До нього прикріплені шість головних і шість додаткових полюсів, поворотна траверса із шістьма щіткотримачами й щити з роликівими підшипниками, у яких обертається якорь двигуна.

Кришка 7 верхнього колекторного люка (рис. 1) укріплена на остові спеціальним пружинним замком, кришка 15 нижнього люка – одним болтом М20 і спеціальним болтом із циліндричною пружиною, а кришка 11 другого нижнього люка – чотирма болтами М12.

Для підведення повітря є вентиляційний люк 18. Вихід повітря, що вентилює, здійснений з боку, протилежного колектору, через спеціальний кожух 5, укріплений на підшипниковому щиті 1. Вивідні кінці подачі струму на котушки якоря і полюсів із двигуна виконані кабелем марки ПМУ-4000 із площею перетину 120 мм². Кабелі захищені брезентовими чохлами з комбінованим просоченням. На кабелях є ярлички з поліхлорвінілових трубок з позначенням Я, ЯЯ, К і КК. Вивідні кабелі Я і ЯЯ (рис. 2) з'єднані з обмотками якоря, додаткових полюсів і з компенсаційної, а вивідні кабелі К і КК з'єднані з обмотками головних полюсів.

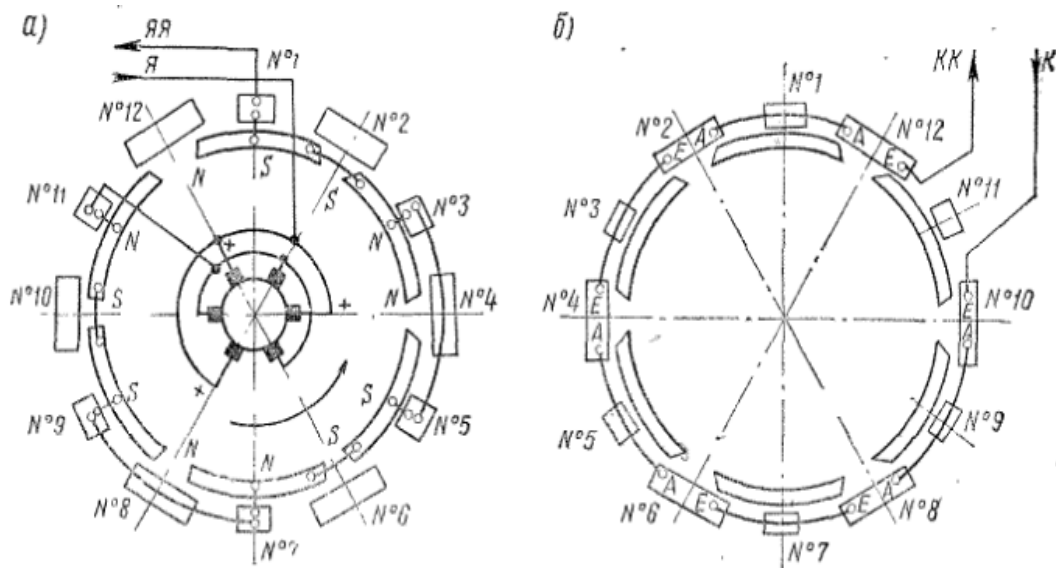


Рис. 2

Осердя головних полюсів 13 (рис. 1) набрані з листів електротехнічної сталі марки 1312 товщиною 0,5мм, скріплені заклепками й укріплені на остові чотирма болтами М24 кожний. Між осердям головного полюса й остовом є одна сталева прокладка товщиною 0,5 мм. Котушка головного полюса 12, що має 19 витків, намотана на ребро з м'якої стрічкової міді розмірами 1,95х65мм, вигнута по радіусу для забезпечення прилягання до внутрішньої поверхні остова.

Для поліпшення робочих характеристик двигуна застосована компенсаційна обмотка 14, розташована в пазах, проштампованих у наконечниках головних полюсів, і з'єднана з обмоткою якоря послідовно. Компенсаційна обмотка складається із шести котушок, намотаних з м'якого прямокутного мідного дроту й має 10 витків. У кожному пазу розташовано по двох витка.

Осердя головних полюсів 10 виконані з товстолістового прокату й укріплені на остові трьома болтами. Для зменшення насичення додаткових полюсів між остовом і осердям додаткових полюсів передбачені діамагнітні прокладки товщиною 8 мм. Котушки додаткових полюсів 9 намотані на ребро з м'якого мідного дроту й мають по 10 витків кожна.

Якір двигуна складається з колектора, обмотки, вкладеної в пази сердечника 5 (рис. 3), набраного в пакет з лакованих аркушів електротехнічної сталі товщиною 0,5мм, сталевій втулки 4, задньої 7 і передньої 3 натискних шайб, вала 8. У осерді є один ряд аксіальних отворів для проходу повітря, що вентиляє. Передня натискна шайба 3 одночасно служить корпусом колектора. Всі деталі якоря зібрані на загальній втулці 4 коробчастої форми, напресованої на вал 8 якоря, що забезпечує можливість його заміни.

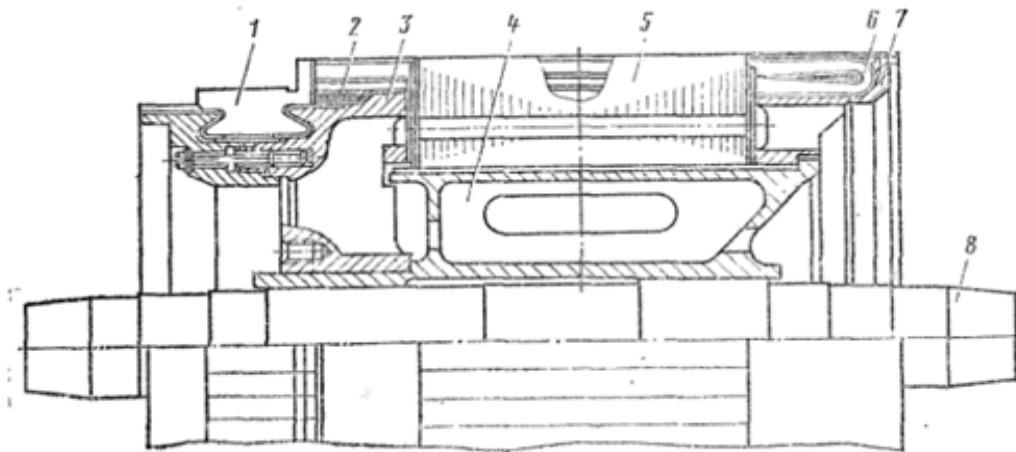


Рис. 3

Якір має 75 котушок 6-ти і 25-ти секційних зрівняльних з'єднань 2.

Кожна котушка має 14 окремих провідників, розташованих по висоті у два ряди, і по сім провідників у ряді.

Колектор двигуна з діаметром робочої поверхні 660 мм набраний з мідних пластин, ізолюваних одна від одної міканітовими прокладками.

Обмотка якоря має такі дані: кількість пазів 75, крок по пазах: 1-13, кількість колекторних пластин 525, крок по колектору 1-2, крок зрівнювачів по колектору 1-176.

Моторно-осьові підшипники складаються з латунних або сталевих вкладишів, залитих по внутрішній поверхні бабітом, і букс із постійним рівнем змащення. Букси мають вікно для передачі змащення. Для запобігання повороту вкладишів передбачено в буксі шпонкове з'єднання.

4. Аналіз роботи тягових двигунів

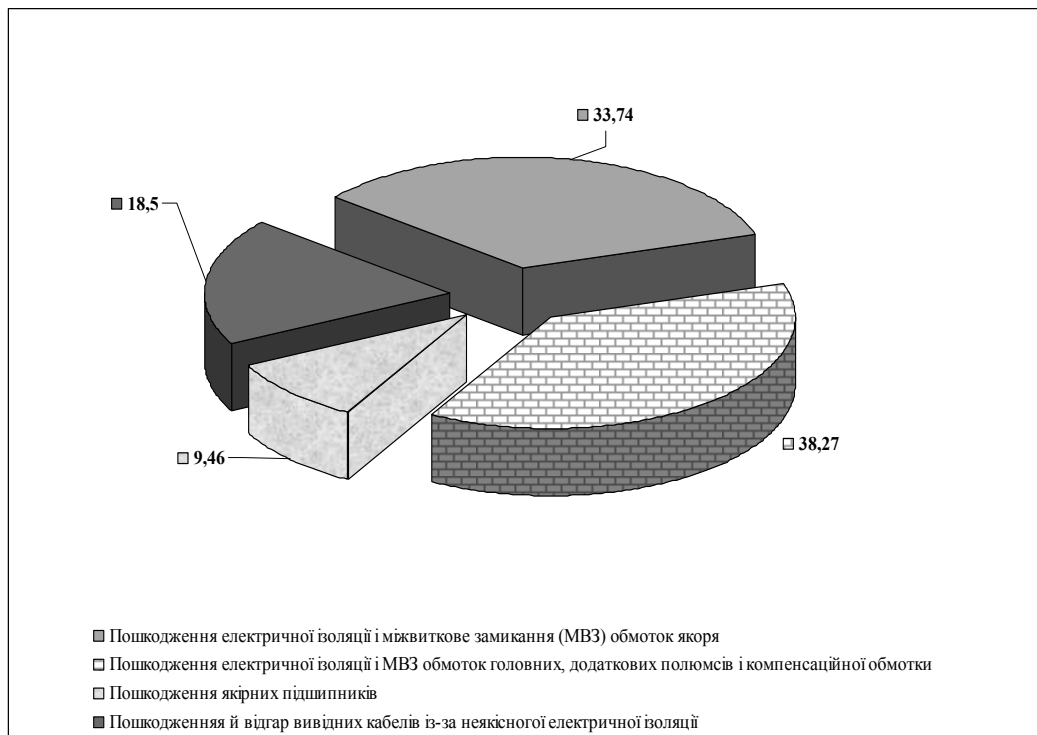
Тягові електричні двигуни належать до найбільш навантаженого устаткування рухомого складу, з погляду комплексного впливу теплових, електричних, механічних і кліматичних факторів.

Як відомо, найбільша кількість відмов тягових двигунів припадає на uszkodження електричної ізоляції обмоток якорів і котушок головних і додаткових полюсів. На діаграмі 1 подано розподіл несправностей ТЭД-електровозів. Як видно із цих даних, несправності через передчасне руйнування електричної ізоляції становить близько 40 % від загальної кількості претензій.

4.1. Основні причини uszkodження електричної ізоляції такі:

- пробій і міжвиткове замикання обмоток якоря;
- пробій і міжвиткове замикання котушок головних, додаткових полюсів і компенсаційної обмотки;
- недостатня електрична міцність ізоляції обмоток якоря й полюсів.

Таким чином, однією з основних умов забезпечення надійності й довговічності ТЭД є застосування правильно підібраних електроізоляційних матеріалів які утворять відповідні системи ізоляції.



Діаграма 1

4.2. Основні види впливу на ізоляцію в процесі виготовлення

У процесі експлуатації існують впливи на ізоляцію, причому ці впливи носять довгостроковий характер, при цьому відбувається, так зване, нагромадження «втоми» ізоляції.

Серед основних впливів на ізоляцію в процесі експлуатації є:

- теплові – циклічні зміни обсягу, що призводять до появи тріщин і зсуву стрічок; перегріву, що призводять до теплового пробою й руйнування ізоляції;
- механічні – електромеханічні й магнітні сили (пуск, холостий хід, скидання навантаження та ін.); електромагнітні обертаня; температурні деформації; динамічний вигин, розтягання стиск, зминання; вібрація. Всі ці фактори призводять до руйнування монолітності ізоляції;
- електричні – часткові розряди в порожнечах (бомбардування твердої ізоляції, локальний розігрів до 1000°C на ділянці, хімічна дія (озон, азотна кислота); поверхневі розряди (ковзні розряди, що сковзають іскри, дуга по лобовій частині);
- хімічні – вода (набрякання ізоляції); активні речовини (зростання твердості, крихкості);
- інші – сторонні домішки (феромагнітні частки).

Основною вимогою до ізоляційних матеріалів, технології виготовлення й конструювання є здатність ізоляції в межах необхідного ресурсу протистояти зазначеному вище комплексу експлуатаційних впливів.

При розробці нових систем ізоляції висуваються вимоги максимального використання властивостей ізоляційних матеріалів шляхом збільшення потужності в одиниці об'єму, а також припустимої температури нагрівання обмоток.

5. Сучасна технологія виготовлення обмоток тягових електродвигунів

Основні стадії технології виготовлення обмоток:

- виготовлення моноблоків основного й додаткового полюсів: ізолювання обмоток непросоченими слюдинітовими стрічками з низьким відсотком сполучені з наступним просоченням епоксидним компаундом у вакуумі й під тиском. Іноді використовується окреме просочення котушок компаундом (лаком) з подальшим зміцненням їх на полюсі;

- виготовлення ізоляції компенсаційних котушок: ізолювання обмоток просоченими слюдинітовими стрічками на основі поліефірно-епоксидних сполучних з подальшим укладанням обмоток у пази полюсів, де відбувається їх затвердіння за допомогою струму в остові двигуна;

- виготовлення ізоляції якоря: ізолювання обмоток просоченими слюдинітовими стрічками на основі епоксидно-поліефірного сполучення з подальшим просоченням у компаунді або лаці у вакуумі й під тиском.

На сьогоднішній день основними напрямками технології просочення з метою створення монолітного стану електричної ізоляції електричних машин є:

- вакуум-нагнітальне просочення (VPI);
- ізоляція із просочених стрічок (Resin Rich);
- змішана технологія.

При застосуванні технології вакуум-нагнітального просочення (VPI) як основна ізоляція використовується склослюдинітові стрічки з низьким вмістом сполучних матеріалів (3-5 %), так звані сухі стрічки або склослюдинітові стрічки з підвищеним вмістом сполучних матеріалів (до 10 %), так звані, напівпросочені стрічки. Як просочувальні сполуки застосовуються різні лаки, компаунди. Технологічний процес складається із просочення під вакуумом і тиском та закрутки у вільному стані.

При виготовленні ізоляції із просочених стрічок (Resin Rich) застосовуються просочені склослюдинітові стрічки із вмістом сполучного матеріалу 25-30 %. Технологічний процес складається в механічному обпресуванні котушок і сушінні при підвищеній температурі або гідростатичному обпресуванні в бітумі й сушінні при підвищеній температурі.

При застосуванні змішаної технології як основна ізоляція застосовується комбінована ізоляція (сухі або просочені склослюдинітові стрічки), різні лаки або компаунди як просочувальні сполуки. Технологічний процес складається з просочення під вакуумом і тиском, сушіння у вільному стані.

Найпоширенішим способом просочення в компаундах ізоляції обмоток електричних машин, ефективність якого не викликає сумнівів і підтверджена десятиліттями виробничої й експлуатаційної практики, є вакуум-нагнітальний. В основі цього процесу лежать видалення повітря з капілярно-пористої структури ізоляційної конструкції в результаті глибокого вакуумування й подальше її заповнення просочувальною сполукою під дією надлишкового тиску.

Численні експериментальні дослідження доводять, що при правильно обраних технологічних параметрах вакуум-нагнітальне просочення забезпечує вміст компаунда в системах ізоляції на основі непросочених стрічок ~ 38-42 %, а також додаткове насичення (у середньому на 46 %) систем ізоляції з попередньо

просоченими стрічками. Це визначає формування монолітних ізоляційних структур, з високими функціональними властивостями.

Як альтернатива вакуум-нагнітального просочення пропонується ультразвукове просочення (УЗП), що використовує здатність ультразвукових коливань витіснити повітря з капілярів і одночасно забезпечувати прискорене просування по них сполуки, що просочує.

Однак, за даними досліджень, проведених ВЭЛНИИ (м. Новочеркаськ, РФ), при дослідженні ізоляції демонтованої обмотки якоря, просоченої із застосуванням УЗП, встановлено, що в більш, ніж 50 % котушок ізоляція напівпакетів і виткова ізоляція повністю не просочені, а процентний вміст сполучного в їхній корпусній ізоляції становить від 8 % (верхній шар) до 12 % (нижній шар).

У разі вакуум-нагнітального просочення отримане повне просочення ізоляції (включаючи виткові) всіх обстежених котушок, при розкіді значень процентного вмісту сполучного в корпусній ізоляції не більше 4 % , що є наслідком рівномірного розподілу рушійної сили вакуум-нагнітального просочення (гідростатичний тиск) по поверхні якоря.

Таким чином, проведені дослідження довели, що технологічний процес УЗП у компаунді не забезпечує повного й рівномірного заповнення сполукою, що просочує, ізоляції котушок, а її електричної міцності показники уступають аналогічній системі ізоляції, просоченої вакуум-нагнітальним способом.

5.1. Стандартний комплекс експериментальних досліджень, проведених при розробці нових систем ізоляції, містить у собі:

- оцінку електрофізичних і технологічних параметрів всіх електроізоляційних матеріалів, що входять у дану систему ізоляції;
- багатофакторні випробування обраних систем ізоляції й конструкцій обмоток тягових електродвигунів;
- рівень зміни основних характеристик ізоляційної системи двигуна під впливом експлуатаційних навантажень (електричне поле, температура, механічні й кліматичні навантаження). Цей параметр визначається або в процесі експлуатації тягових електродвигунів за певний період, або за допомогою імітації цих навантажень шляхом ресурсних випробувань двигуна.

Якщо говорити про сучасні системи ізоляції, то тут повні комплекси електроізоляційних матеріалів для різних типів електричних машин і апаратів пропонують провідні світові виробники електроізоляційних матеріалів.

6. Магнітні й електричні властивості матеріалів, з яких виготовлені елементи магнітного ланцюга тягових двигунів

Для реалізації потенціальних здатностей тягових двигунів необхідно підтримувати величину магніторушійної сили (МРС), що у свою чергу залежить від величини магнітної індукції, магнітних властивостей матеріалів з яких виготовлені елементи магнітного ланцюга, а також від величини й рівномірності повітряного проміжку, які передбачені конструкторською документацією тягового двигуна.

Основні електромагнітні співвідношення, як відомо з теорії електричних машин, між електрорушійною силою, магнітним потоком, частотою обертання й конструктивних особливостей двигунів визначаються такими залежностями:

6.1. Е.р. с. якоря й електромагнітний момент (Л-1)

$$E = \frac{pN}{a} \hat{O} \delta n \quad (1-5).$$

Е.р. с. Якоря:

$$E_a = C_e \Phi n \quad (1-6)$$

$$C_e = pN/a \quad (1-7).$$

де C_e – постійна для кожної машини величина.

Якщо замість величини n ввести у формулу (1-6) кутову швидкість обертання $\Omega = 2\pi n$

$$E = C_m \Phi \delta \Omega \quad (1-7)$$

$$C_m = Ce / 2\pi = pN / 2\pi \quad (1-8),$$

де C_m – постійна для кожної машини величина.

Як видно з виразу (1-7) е.р. с. E пропорційна основному магнітному потоку й швидкості обертання й не залежить від форми кривої розподілу індукції в повітряному проміжку.

6.2. Основні електромагнітні навантаження

Найважливішими електромагнітними навантаженнями електричної машини, що визначають ступінь використання матеріалів і розміри машини при заданій номінальній потужності, є магнітна індукція в повітряному проміжку $B \delta$ і лінійне навантаження якоря A_a . Остання являє собою загальне значення струму обмотки якоря на одиницю довжини округлої частини якоря. Для машин постійного струму:

$$A_a = \frac{NIa}{4a\tau} \quad (1-9)$$

Як видно з 1-9 основний електромагнітний момент залежить від основного магнітного потоку й величини повітряного зазору між осердям якоря й осердями полюсів, тому при конструюванні тягових двигунів враховані вимоги законів електромагнітної індукції й негативних дій реакції якоря. Основним магнітним потоком $\Phi \delta$ називається потік у повітряному зазорі δ , що припадає на один головний полюс машини (рис. 4). Значення $\Phi \delta$ визначає значення е.р.с., яку індукуюмо в обмотці якоря:

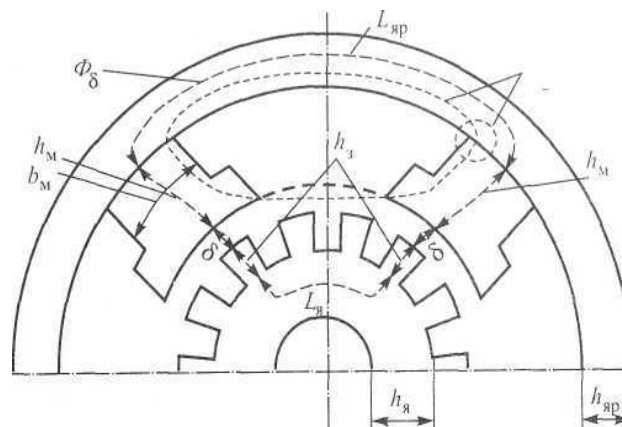


Рис. 4. Магнітний ланцюг однієї пари полюсів

Магнітний потік машини створюють головні полюси тягових двигунів, які складаються із осердя й котушки. Осердя виготовлені з листової електротехнічної сталі від магнітних властивостей якої залежить величина магніторушійної сили, створюваної головними полюсами при проходженні по обмотці номінального струму.

Середній вік ТЭД становить 33 – 50 років. За цей час вони відпрацювали тисячі годин (181000-274000 год.) при повному навантаженні, у результаті чого відбулися мільйонні цикли перемагнічування, а також зроблено безліч ремонтів і різних модернізацій. За цей період матеріали, з яких виготовлені осердя якорів і полюсів, пройшли процес старіння, в результаті чого зменшилися їхні магнітні властивості.

Ступінь втрат магнітних властивостей у результаті старіння залежить від віку й марки сталі з якої виготовлені сердечники полюсів, якорів і остовів.

Таблиця

Марки сталі, з яких виготовлені елементи магнітного ланцюга тягового двигуна

Тип	Марка сталі		
	осердя		остовів
двигуна	якорів	полюсів	
ТЛ-2К-1	2212	1213	Сталь 25лк

Великий вплив на магнітні властивості матеріалів чинить процес її старіння, у результаті чого електротехнічна сталь втрачає магнітні властивості, що в кінцевому результаті позначається на величині магнітного потоку двигунів і, як наслідок, зменшується потужність тягових двигунів.

Перераховані вище заходи щодо зменшення магнітного опору й поліпшення магнітних властивостей матеріалів дозволять більшити величину магніторушійної сили машини в цілому і, як наслідок, збільшити проектну потужність тягових двигунів (Л6).

7. Вплив внутрішніх геометричних розмірів остова

Відстань між осердям якоря (ротора) і головних полюсів статора (остова) є визначальним чинником збереження заданої потужності електродвигуна й повинен витримуватися після проведення ремонтів з розбиранням електродвигунів. Необхідно знайти відстань від поверхні осердя всіх головних полюсів статора до поверхні ротора, а також установити рівномірний повітряний проміжок між осердям всіх головних полюсів статора й осердям ротора. Контроль параметрів здійснюється за допомогою спеціальних приладів робітником і всі результати залежать від людського фактора. Доцільно виготовити вимірювальний пристрій, який монтується в корпусі двигуна у вигляді циліндра, що разом зі зібраним вимірювальним стрижнем входить у підшипниковий отвір остова. Пристрій врівноважені вантажем, які у вигляді дисків закріплено на підвісках, що мають розміри статора, після чого пристрій входить у корпус електродвигуна й закріплюється в ньому за допомогою втулок. Вимірювальний пристрій центрується

в отворах для роликотідшипників. У результаті вимірювальної пристрій дозволяє контролювати відстань від осі ротора до поверхні статора в будь-якій точці. Для виміру використовуються елементи механічних вимірювальних приладів виготовлених на спеціалізованих підприємствах. Встановлення відповідних геометричних розмірів середньої порожнини остова забезпечує розмір повітряного проміжку між осердям головних полюсів і ротора, який має бути не більше 4-5 мм, та між осердям допоміжних полюсів в межах 7-8 мм. Постійність повітряного проміжку забезпечується також за допомогою підбирання підшипників з мінімально допустимими радіальними зазорами, які передбачені технічними умовами та конструкторською документацією.

Висновки

Із проведеного аналізу роботи тягових двигунів і дослідження властивостей матеріалів, які застосовувалися при їх будівництві і ремонті, витікає, що основними факторами передчасного виходу із ладу тягових двигунів є електрична і механічна міцність електроізоляційних матеріалів, нерівномірного повітряного проміжку між осердями головних полюсів і якоря, який залежить від геометричних розмірів остова і радіальних розбіжностей підшипників та наднормативних циклів перемагнічування електротехнічної сталі осердя якоря головних і додаткових полюсів. З метою підвищення надійності роботи складових тягових двигунів необхідно провести комплексну модернізацію тягових двигунів передбачивши, такі складові:

- впровадження нових систем електроізоляційних матеріалів класу нагрівостійкості F, H, C;
- заміна електротехнічної сталі осердя якорів та головних і додаткових полюсів;
- відновлення геометричних розмірів остовів;
- випробування тягових двигунів по програмі, передбаченій ГОСТ 2582-81.

Організаційно-технічні ризики при проведенні комплексної модернізації

Під час проведення модернізації виникають організаційні і технічні ризики, зокрема:

організаційні ризики

- несвоєчасне забезпечення технологічного процесу об'єктами;
- не забезпечення матеріальними ресурсами, обладнанням;
- не забезпечення інструментом;
- не забезпечення енергоносіями;
- не бажання проведення комплексної модернізації;

технічні ризики

- недосконалість технологічного процесу проведення комплексної модернізації;
- неякісне проведення відновлення геометричних розмірів;
- невідповідність сертифікатам електротехнічних матеріалів;
- відсутність відповідного обладнання для проведення операцій з золяції, просочування і сушіння обмотаних якорів та котушок головних та додаткових полюсів;
- неякісний контроль виконання технологічних операцій;
- відсутність обладнання або його невідповідність для проведення ресурсних випробувань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Безрученко В. М., Варченко В. К., Чумак В. В. Тягові електричні машини електрорухомого складу. – Видавництво Дніпропетровський нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
2. Тихменев Б. П., Трахтман Л. И. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. – Москва: Издательство «Транспорт», 1980. – 356 с.
3. Дубинець Л. В., Вислогузов В. Т., Кийко А. І. та ін. Тягові електричні апарати контактні. – Дніпропетровськ: Дніпропетровський нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2002. – 101 с.
4. Алексюк М. М., Данилевський В. И. Устройство для измерения воздушного зазора между сердечником статора и якорем электродвигателя. – К.: ДЕДУТ, 2010.
5. Данилевський В. І., Мельник Т. М. Підвищення надійності роботи тягових двигунів тягового моторвагонного рухомого складу залізниць України: Матеріали четвертої міжнародної науково-практичної конференції. Серія «Техніка, технологія». – К.: ДЕДУТ, 2008. – С. 38-40.
6. Данилевський В. І., Данилевський В. В. Исследование магнитной системы тяговых двигателей электроподвижного состава. – Локомотив-информ. – № 7. – 2008. – С. 18-21.
7. Данилевський В. В., Данилевський В. В., Гулак С. О. Науково-технічне обґрунтування доцільності модернізації випробувальних станцій електричних машин електрорухомого складу. – Локомотив-информ. – № 1-2. – 2009. – С. 4-7.

УДК 666

*Олександра Дорошенко
Катерина Гудіменко
Юрій Дорошенко*

**ІСТОРІЯ АМЕРИКАНСЬКИХ ШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЕЙ
І ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ
ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ**

У статті розглядаються історія створення американських швидкісних магістралей і напрямки досліджень науковців в області цементобетонних покриттів. У статті наведені основні задачі плану з подальшого впровадження цементобетонних покриттів доріг.

В статье рассматриваются история создания американских скоростных магистралей и направления исследований ученых в области цементобетонных покрытий. В статье приведены основные задачи плана по дальнейшему внедрению цементобетонных покрытий дорог.

In the article the history of American highways and areas of research scientists in the field of concrete pavement. The article you hover the main task plan for further implementation of concrete pavement roads.

Ключові слова: покриття доріг, цементобетон, швидкісні магістралі, морозостійкість, водопроникність, довговічність.

В США хайвеї (higway) з'явилися приблизно в той самий час, що й автобани в Німеччині, де їх почав будувати А.Гітлер. Американці багато що перейняли з німецького досвіду.

Рузвельт вважав, що будівництво швидкісних доріг, що перетинають країну, покращить стан справ в економіці США. Будівництво хайвеїв було розпочато в розпал «Великої депресії», небувалої економічної кризи, і Ф. Рузвельт сподівався, що дорожнє будівництво дозволить знизити рівень безробіття.

На початку ХХ століття автомобілі в США були дивиною і привілеєм багатіїв. Пересічні американці задовольнялись кіньми або легкими екіпажами, а при необхідності далекої подорожі користувались потягами. Однак ситуація змінилася після того, як Форд створив автомобільний конвеєр. Внаслідок чого стало можливим будувати машини, доступні за ціною для більшої частини населення США, з появою все більшої кількості автомашин на дорогах, стало ясно, що США вкрай потребує більш розвиненої системи доріг і магістралей.

© Дорошенко О. Ю., Гудіменко К. В., Дорошенко Ю. М., 2011

Кращі дороги США того часу було вимощено бруківкою. Більшість місцевих доріг і навіть загальнонаціональних транспортних магістралей не мали твердого покриття.

У 1925 році був прийнятий закон про федеральну допомогу в будівництві доріг, за яким створювалась нова система швидкісних магістралей, підпорядкованих штатам, а не приватним компаніям.

Наприкінці 1930-х років адміністрація США вперше розробила план створення загально федеральної системи швидкісних доріг. Легенда говорить, що на карті США президент Ф. Рузвельт намалював три лінії, що перетинають країну вздовж і ще три – що перетинають її впоперек і наказав бюро громадських доріг негайно стати до будівництва цих шосе. В 1938 році був прийнятий закон про федеральні магістралі, згідно з яким Бюро громадських доріг було вказано вивчити можливість створення мережі платних магістралей. Ідея була в тому, щоб усі штати мали прямий доступ до цієї дорожньої системи. Бюро порадило побудувати магістральну дорожню мережу довжиною 43 тис. км. Однак вона повинна була бути платною тільки частково через побоювання, що в умовах економічної кризи платні дороги могли викликати масове незадоволення. Передбачалось, що на більшій протяжності федеральні хайвеї мали б чотири смуги руху. Більша кількість смуг передбачалось побудувати в районах, де була ймовірність більш інтенсивного руху – більше 2 тис. автомобілів на день (730 тис. на рік).

У квітні 1941 року Ф. Рузвельт створив Національний комітет по міжрегіональним магістралям, перед яким було поставлено завдання підготовки детального плану. Комітет запропонував побудувати мережу довжиною в 63 тис. км. В 1947 році будівництво було розпочато. Вартість проекту оцінювалась в 23 млрд. долл., які повинні були надійти з бюджетів окремих штатів. В 1950 році США знов виявились втягнутими у війну, на цей раз в Кореї. Будівництво магістралей набуло також військового значення для держави. Через це у 1952 році вперше в історії, федеральний уряд США виділив 25 млн. дол. з федеральної казни на будівництво цієї величезної дорожньої мережі. Уряд також створив систему подальшого фінансування будівництва, розділивши витрати навпіл між федеральним бюджетом і штатами. Вже у 1953 році більше 10 тис. км доріг було побудовано, що обійшлося в 955 млн. дол.

У 1953 році президентом США став Дуайт Девід Ейзенхауер (Eisenhower), що проявив себе як гарячий прихильник створення національної магістральної системи. Причиною цього стало його бойове минуле. Під час другої світової війни Ейзенхауер оцінив привілеї, які автобани давали німецьким військам. Внаслідок зусиль Д. Ейзенхауера у 1956 році було прийнято закон, в якому були остаточно визначені маршрути основних швидкісних магістралей, встановлено єдиний дизайн для шосе і дорожніх знаків. 12-річний бюджет дорожнього будівництва було збільшено до 25 млрд. дол., з яких 90 % зобов'язувалися заплатити федеральні влади. У 1990 році, за значні заслуги Д. Ейзенхауера, тодішній президент США Джорж Буш-старший підписав закон, згідно з яким мережу національних хайвеїв було перейменовано в Систему магістралей імені Ейзенхауера.

Традиційно будівництво хайвеїв і їх підтримка в робочому стані фінансується з бюджетів США та окремих штатів. Однак переважна частка фінансування надходить за рахунок комерційної діяльності самих магістралей, в основному за рахунок дорожніх зборів.

Закон про прибутки хайвеїв, що прийнятий в 1956 році, дозволив створити спеціальний федеральний дорожній фонд з метою збирання коштів спеціально для фінансування Національної системи магістралей. Прямою відповідальністю цього фонду є розподіл коштів, отриманих за рахунок зборів федеральних податків. Фактично ці дороги фінансуються за рахунок власників автомобілів. Існують особливі збори, що включаються в вартість автомобільного палива, покришок, вантажівок, а також від перевезення багатотонних вантажів. З кожних 4 літрів бензину, проданих на американській бензоколонці, дорожній фонд отримує в середньому 2,5 центи. Кошти, отримані за рахунок цих зборів більш ніж значні, якщо врахувати, що за рік американці спалюють більше 656 млрд. літрів пального. У 2001 році лише за рахунок цього збору дорожній фонд отримав більше 30 млрд дол.

За даними Федеральної дорожньої адміністрації у 2001 році дорожні збори принесли в бюджет дорожнього фонду більше 100 млрд дол., з яких було витрачено більше 81 млрд дол. З цієї суми майже 60 % було отримано за рахунок збору податків на паливо і автомобілі, білизько 4 % – за рахунок дорожніх зборів (багато доріг беруть плату за проїзд з кожного автомобіля – суми збору можуть коливатися від 2 до 15 дол.), 6 % - за рахунок приватних інвестицій і 9 % від продажу цінних паперів.

Аналіз федеральної програми швидкісних магістралей, підготовлений економістом Уільямом Бунчер при сприянні Асоціації Американських Автодорожників, є останнім в серії досліджень, що доводять, які вигоди отримали США в результаті створення магістральної дорожньої мережі. Зараз по дорогах США перевозять товарів на суму біля 5 трлн дол. Кожен 1 млрд дол., інвестований в будівництво транспортної інфраструктури, призводить до створення біля 35 тис. робочих місць. Зараз в США у сфері дорожнього будівництва зайнято біля 300 тис. осіб.

Цікаво, що кожен 1 млрд дол. інвестицій дозволив уникнути більше, ніж 1,5 тис. смертельних випадків і 50 тис. травм і поранень, оскільки якісні дороги зменшують ризик дорожньо-транспортних пригод. Кожен долар подібних капіталовкладень, зроблених за останні 40 років, дозволив американському суспільству зберегти 2 долари – за рахунок економії, досягнутої в сферах охорони здоров'я і страхування, за рахунок зниження рівня безробіття і підвищення продуктивності праці.

Основні задачі плану щодо подальшого впровадження цементобетонних покриттів:

1. Проектування складу цементобетонної суміші, орієнтованої безпосередньо на експлуатаційні умови роботи дорожнього покриття.
2. Проектування нових і підсилення існуючих цементобетонних покриттів, орієнтованих на експлуатаційні умови роботи дорожнього покриття.
3. Розробка вимог для досягнення оптимальних характеристик поверхні цементобетонного покриття за критеріями безпеки, мінімального шуму, рівності та довговічності.
4. Вдосконалення і автоматизація машин і механізмів для будівництва цементобетонних покриттів.
5. Розробка нових конструкцій і технологій влаштування деформаційних швів цементобетонних покриттів.
6. Розробка методів швидкого ремонту і підсилення жорстких покриттів.

7. Розробка конструкцій і матеріалів для довговічних жорстких дорожніх покриттів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Радовський Б. С.* Цементобетонні покриття в США. – «Дорожна техніка». – № 10. – 2009. – С. 124 - 132.
2. *Радовський Б. С.* Будівництво доріг з цементобетонним покриттям в США: Нові тенденції. – «Дорожна техніка». – № 10. – 2010. – С. 62-70.

УДК 629.4.023.1

*Юрій Дьомін
Антон Стецько*

**АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ ВИРІШЕНЬ КОНСТРУКЦІЙ
СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ВАГОНІВ ДЛЯ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНИХ
ТА ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

У статті наведені відомості про організацію міжнародних перевезень за новими технологіями. Приділено увагу спеціалізованому рухомому складу залізниць для комбінованих і безперевантажувальних перевезень.

В статті приведені сведения об организации международных перевозок по новым технологиям. Уделено внимание специализированному подвижному составу железных дорог для комбинированных и бесперегрузочных перевозок.

In the article the considered information on the organization of international transportation with new technologies. Attention is paid to specialized rolling stock for railways combined and without transshipment transport.

Ключові слова: міжнародні транспортні перевезення, комбіновані перевезення, безперевантажувальні перевезення.

Аналіз стану вагонного парку свідчить про те, що більшість типів вантажних вагонів за своїми техніко-економічними характеристиками не відповідає сучасним вимогам щодо надійності, довговічності та ремонтпридатності. Вантажні вагони переважно будують з використанням автозчепів, автогалем і візків, принципова будова яких розроблена ще у 30-ті роки минулого століття. З метою підвищення якості транспортного обслуговування та скорочення ремонтно-експлуатаційних витрат великої актуальності набувають проекти зі створення конструкцій вагонів нового покоління. Пріоритетного розвитку набуває спеціалізований вантажний рухомий склад, перш за все вагони для міжнародних перевезень [1].

Загальними завданнями поетапного поповнення парку вантажного рухомого складу вагонами нового технічного рівня є: зниження собівартості перевезень масових вантажів за рахунок збільшеної вантажопідйомності, місткості та надійності вагонів; формування попиту на швидкісні перевезення вантажів залізничним транспортом із забезпеченням цілості й гарантованих термінів доставляння вантажів; підвищення транспортної й екологічної безпеки залізничних перевезень. Вагони нового покоління поступово будуть витискати з парку вантажного рухомого складу вагони наявних конструкцій.

© Дьомін Ю. В., Стецько А. А., 2011

Вагони для комбінованих перевезень вітчизняного виробництва

У парку спеціалізованих вагонів найбільш поширені вагони-платформи для комбінованих перевезень. Залізничні платформи для перевезення великотоннажних контейнерів і знімних кузовів постійно удосконалюються. При цьому враховується, що концепція економічно раціональної конструкції вагонів для змішаних перевезень значною мірою залежить від характеристик вантажних одиниць і перевантажувальної техніки.

В теперішній час для перевезення контейнерів використовуються платформи експлуатаційного парку стандарту колії 1520 мм моделі 13-470 (рис. 1) [2]. Рама платформи такого типу являє собою зварну конструкцію. Основні несучі елементи рами складаються з потужних двотаврів, що утворюють хребтову і бокові балки, з'єднані поперечними балками. Лобові бруси і шворневі балки виконано за схемою, типовою для рам вантажних вагонів. Платформа має вантажопідйомність 60 т при масі тари 22 т. База вагона дорівнює 14,72 м, довжина між осями зчеплення автозчепів – 19,62 м, довжина за кінцевими балками рами – 18,4 м, ширина – 2,5 м. Висота підлоги від рівня голівок рейок складає 1,275 м.

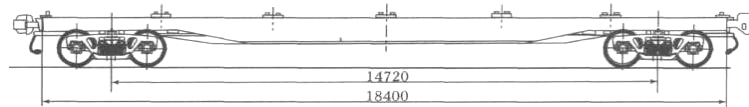


Рис. 1. Платформа для перевезення контейнерів моделі 13-470

Передбачається розроблення типорозмірного ряду нових платформ для перевезення контейнерів. Швидкісну платформу загальною довжиною до 40-ка футів (близько 12-ти метрів) призначено для експлуатації в пасажирських і вантажобагажних поїздах. За своїми ходовими якостями і впливом на колію вона не буде відрізнятися від пасажирських вагонів. Швидкісна платформа для перевезення контейнерів загальною довжиною до 60-ти футів (близько 18-ти м) призначається для експлуатації в прискорених вантажних поїздах. Платформа для перевезення контейнерів загальною довжиною до 80-ти футів (близько 24-х м) призначена для експлуатації в звичайних поїздах. Всі платформи передбачається обладнати поглинальними апаратами підвищеної енергоємності для запобігання ушкодженню вантажів.

Вагон-платформу для великотоннажних контейнерів моделі 13-4117 (рис. 2) створено ВАТ «Дніпровагонмаш». За рахунок застосування відкидних упорів під кутові фітинги допускає різноманітну комбінацію контейнерів типорозмірів 1А, 1АА, 1АХ, 1В, 1ВВ, 1ВХ, 1С, 1СС, 1СХ згідно з ГОСТ 18477 з максимально допустимим їх завантаженням.

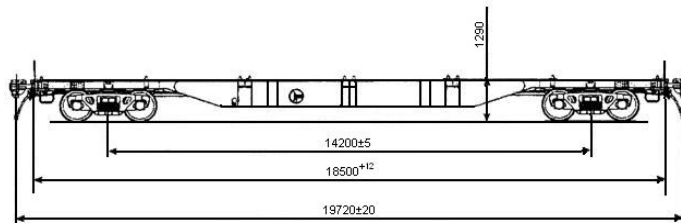


Рис. 2. Вагон-платформа моделі 13-4117

Зчленована платформа для великотоннажних контейнерів (рис. 3) розроблена ВАТ «Дніпровагонмаш» для перевезень великотоннажних контейнерів зі схемами розміщення: два контейнери типу 1А або 1АА або 1АХ; чотири контейнери типу 1С або 1СС або 1СХ; один контейнер типу 1А або 1АА або 1АХ і два контейнери типу 1С або 1СС або 1СХ.

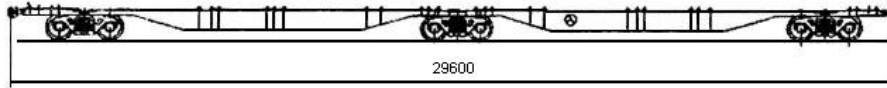


Рис. 3. Вагон-платформа моделі 13-4123

Конструктивними особливостями вказаного вагона є те, що він складається з двох безхребтових рам (секцій) з упорами, призначеними для фіксації контейнерів. Секції сполучаються за допомогою спеціального з'єднувального вузла, через який опираються на середній двовісний візок. У зовнішніх консольних частинах секцій передбачено встановлення буферів та можливість використання гвинтової упряжі. Останнє передбачає додаткове дооснащення вагона з метою виходу його на колії 1435 мм. Гальмівна система передбачає оснащення секцій роздільно діючим гальмівним обладнанням, що унеможливує виникнення юзу при транспортуванні контейнерів з різною масою.

Вагон-платформа моделі 13-4108 виробництва ВАТ «Дніпровагонмаш» для труб великого діаметру (рис. 4) складається з рами, торцевих стін, стійок, зв'язувальних пристроїв, автоматичного та стоянкового гальм, ходових частин. Крім того, вагон обладнується упорами для розміщення та закріплення великотоннажних контейнерів. Конструкцією передбачається транспортування також інших великогабаритних вантажів.

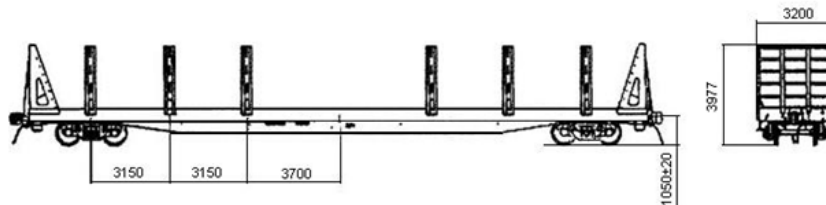


Рис. 4. Вагон-платформа моделі 13-4108

Вагон-платформу виробництва ВАТ «Дніпровагонмаш» моделі 23-469-07 може бути пристосовано до перевезень багатофункційних знімних кузовів (БЗК), розроблених ПФ «Глорія». БЗК являє собою зварну металоконструкцію, яку оснащено співвісними нижніми фітингами і верхніми фітинговими упорами, бічними стійками, ложементами і домкратними пристроями для закріплення вантажів. За посадочними місцями на транспортний засіб БЗК серії А відповідає універсальному контейнеру серії А. Максимальна маса бруто БЗК становить 34 т.

Створення вітчизняного рухомого складу для контрейлерних перевезень відбувалось за рахунок певної універсализації вагонів-платформ для перевезення контейнерів (наприклад, вагон моделі 13-4085 для контейнерів та колісної техніки), а також створення нового спеціалізованого рухомого складу (наприклад, вагон-платформа моделі 13-4095 для перевезень автопоїздів та великотоннажних контейнерів, виробник – ВАТ «Дніпровагонмаш»).

Спеціалізований рухомий склад колії 1435 мм

Порівняно з вагонами колії 1520 мм, вагони колії 1435 мм істотно відрізняються за конструкціями кузовів, міжвагонних зчепів, гальмівного обладнання та ходових частин. Конструктивні відмінності визначаються різними нормативними вимогами та технічними рішеннями, які, виходячи з історичних умов, формувались впродовж десятиліть незалежно одне від одного.

Структура вагонних парків європейських залізниць неоднорідна. Але головна тенденція до збільшення спеціалізованих вагонів відмічається на всіх залізницях. Причому, якщо в державній власності залишаються, в основному, універсальні вагони, то спеціалізований рухомий склад, як правило, належить до приватних фірм.

У вагонних парках залізниць Західної Європи використовуються платформи-контейнеровози, які мають завантажувальну довжину 12,2, 18,3 і 24,4 м. На платформах довжиною 18,3 м можна перевозити 3 контейнери довжиною 6,1 м або по одному – довжиною 6,1 і 12,2 м, а також контейнери довжиною 13,7 м, але за більш високим тарифом через недовикористання корисної довжини вагона.

Для перевезень вантажів у змішаному сполученні залізницями колії 1435 мм створено декілька типів спеціалізованих вагонів. Зокрема, для забезпечення перспективних швидкісних комбінованих перевезень модернізовано стандартну контейнерну платформу Sgns 694. Нова модифікація платформи, позначена Sgnss-у 703, має змінену схему завантаження і надає можливість перевозити контейнери зі швидкостями руху до 160 км/год [3].

У зв'язку з потребою в укорочених вагонах, які мають велику площу завантаження для розміщення контейнерів, розроблено зчленовану платформу типу Sggnos(s) 715, дві половини якої з'єднуються візком з діагональними зв'язками. Розроблено також новий тип платформи Sdgnos 744, яка може використовуватись для перевезень як контейнерів і змінних кузовів, так і напівпричепів. Для скорочення термінів доставки і спрощення операцій завантаження-розвантаження автопоїздів розроблені вагони типу Saadkms 690 з низьким розміщенням вантажної площадки щодо рівня голівок рейок (РГР).

За замовленням Національних залізниць Франції (SNCF) створено серію вагонів-платформ типу «Multifret». Проект цих вагонів розроблено фірмою Arbel Fauvet Rail. Рама платформи «Multifret» складається з центральної і двох кінцевих частин, піднятих над рівнем підлоги на 250 мм (рис. 5). Центральна частина платформи являє собою традиційну для каркасних вагонів конструкцію. Рама складається з двох хребтових балок, до яких прикріплено поперечини, що несуть опорні пластини з устаткуванням для кріплення вантажних одиниць. Хребтові балки з'єднуються шворневими балками, які спираються на візки типу Y33A. Порівняно зі стандартними візками типу Y25 візки типу Y33A мають збільшену до двох метрів базу, колеса діаметром 840 мм, що допускають осьове навантаження 18 тс.

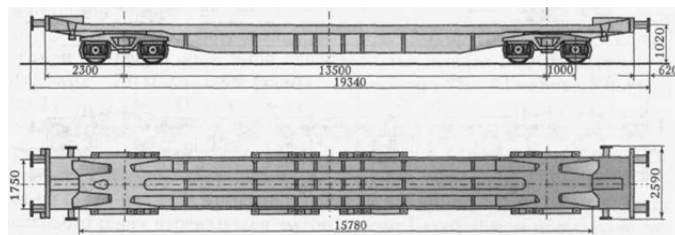


Рис. 5. Вагон-платформа типу «Multifret»

Вантажопідйомність платформи "Multifret" становить 54 т. Вона може використовуватись при різних комбінаціях установлювання змінних кузовів та контейнерів. Залежно від завантаження (осьового навантаження) платформа має такі допустимі швидкості руху: 100 км/год (гальмівний режим S) – при 18 тс/вісь; 120 км/год (режим SS) – при 17 тс/вісь. Швидкісні модифікації платформи "Multifret" з допустимими швидкостями руху 140...160 км/год обладнуються візками типу Y37. Візки такого типу мають коліскову підвіску, яка припускає відносно великі поперечні переміщення. Така конструкція ходових частин забезпечує проходження вагоном кривих з показниками на рівні показників пасажирського вагона. Вагони з візками типу Y37 характеризуються високою стійкістю, що надало можливість під час ходових випробувань досягти швидкості біля 204 км/год без порушення умов безпеки руху.

Для залізничних перевезень за системою ACTS (контейнери, оснащені роликами) з бічним розвантаженням використовуються спеціалізовані платформи з поворотними рамами (рис. 6). База такої платформи дорівнює 15,8 м, а довжина рами – 20,54 м. Платформу оснащено зчипним і гальмівним обладнанням за стандартами UIC. Раму платформи встановлено на стандартні візки типу Y25.

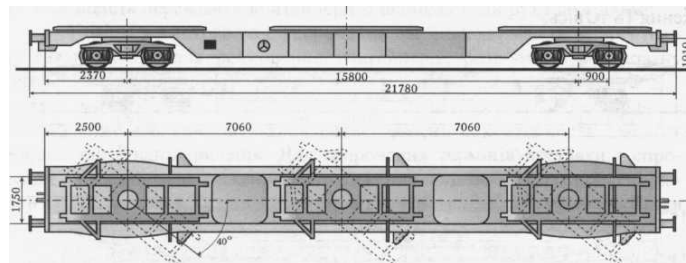


Рис. 6. Платформа для перевезень за системою ACTS

При залізничних перевезеннях за системою ACTS контейнер встановлюється на поворотній рамі платформи. При перевантаженні на автотранспортний засіб ця рама відводиться вбік, до неї подається заднім ходом автомобіль-контейнеровоз, який перекочує контейнер на свою раму. При зворотній операції контейнер перекочується на поворотну раму платформи.

Останнє покоління вагонів для змішаних перевезень відрізняється підвищеними ходовими якостями і поліпшеними характеристиками вібро- та ударозахисту. Це стосується як вагонів-платформ для перевезення контейнерів у два яруси, так і

вагонів спеціальної конструкції без настилу, що можуть бути використані для перевезень як контейнерів, так і трейлерів.

Секції для двоярусного перевезення контейнерів являють собою п'ять шарнірно сполучених платформ, які не розчіплюються. З урахуванням того, що сортування вагонів і формування контейнерних поїздів не буде супроводжуватися сильними ударами, найбільший робочий хід амортизаторів зчепу дорівнює 75 мм.

З метою оновлення і розширення парків вантажних вагонів залізниці замовляють цистерни для перевезень нафтопродуктів, скраплених газів і хімічної продукції, криті вагони з розсувними дахами та боковими стінами, вагони з гравітаційним розвантаженням, напіввагони універсальні та спеціалізовані, платформи для перевезень листової сталі, вагони для легкових автомобілів, вагони-платформи для деревини та пиломатеріалів.

У секторі вагонів-цистерн розроблено дво- та чотиривісні цистерни зі збільшеним об'ємом котла, щоб якомога повніше використати припустиме осьове навантаження 22,5 тс/вісь. Постійно зростає попит на цистерни для перевезення скраплених газів. Через це створюються цистерни з об'ємом котла до 120 м³.

Серед критих спеціалізованих вагонів найбільший інтерес викликають нові вагони з розсувними стінами. Наприклад, у двосекційного вантажного вагона (дві двовісні секції на короткому зчепі) для перевезень автомобільних вузлів і деталей у великогабаритних контейнерах і піддонах для швидкого завантаження та розвантаження бокові стіни вагона можна повністю відкривати. Відкидні бокові стіни виготовляються з гофрованих сталевих панелей з навішеним брезентом, який можна підняти вгору за допомогою перлонових шнурів. Піднімання брезенту, відкидання секції стіни і борту відбуваються послідовно обертанням ручного штурвалу.

Чотиривісний вагон з розсувними стінами з двох алюмінієвих частин має велике вантажне приміщення, що забезпечує раціональне завантаження і вивантаження за допомогою автовантажувача. Розсувні стінки не мають гумових ущільнювачів, а герметизація здійснюється за рахунок лабіринтних ущільнень в торцях стін.

Представлені двовісні вагони призначено для перевезень вантажів поштучно або на піддонах, які потребують захисту від забруднення, опадів і розкрадання. Ці вагони відрізняються конструктивними рішеннями. Вагон типу 222 S (рис. 7) обладнано пересувним тентом.



Рис. 7. Вагон типу 222 S

Вагон типу 216 К належить до сімейства вагонів з розсувними стінами. Особливість цього вагона полягає у наявності шести пересувних перегородок. Вагон серії

Hbis-тt так само обладнано розсувними стінами. Модульний принцип побудови цього вагона дає можливість створити на його базі декілька модифікацій.

Чотиривісні вагони типів Habins 12 (рис. 8) і Sfiiss (рис. 9) призначено для перевезень чутливих до вологи й великогабаритних вантажів. Вагон типу Habins 12 має з кожного боку по дві зсувні стіни з алюмінію.



Рис. 8. Вагон типу Habins 12



Рис. 9. Вагон типу Sfiiss

Проаналізувавши сучасний стан залізничних перевезень міжнародними коридорами можна зробити висновок, що нові економічні обставини вимагають розширеного пошуку на ринку транспортних послуг попиту на залізничні перевезення. Одним з перспективних шляхів нарощування перевезень вантажів широкої номенклатури за напрямками Європа-Азія є організація перевезень за інтероперабельними та інтермодальними технологіями. На відміну від пасажирських перевезень у міжнародному сполученні, які об'єктивно стимулюються потребами проекту Євро-2012, на сьогодні не існує чіткої програми розвитку міжнародних перевезень вантажів коліями різного стандарту.

Перспективи підвищення конкурентоспроможності залізниць на ринку транспортних послуг обумовлені такими фундаментальними характеристиками залізничного транспорту, як висока екологічність і низька енергоємність. До того ж, залізниці, порівняно з іншими видами транспорту, при однаковій пропускній здатності займають менше площ. Тому залізничний транспорт, як екологічно чистий, економічний і безпечний, залишиться основним перевізником вантажів на середні та довгі відстані.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дьомін Ю. В. Залізнична техніка міжнародних транспортних систем (вантажні перевезення). – К.: Юнікон-Прес, 2001. – 342 с.
2. Лукин В. В. Конструирование и расчет вагонов: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / В.В. Лукин, Л.А. Шадури, В.Н. Котуранов, А.А. Хохлов, П.С. Анисимов. – М.: УМК МПС РФ, 2000. – 731 с.
3. Tulecki A. Przyszłościowe technologie przewozowe w korytarzach transportowych Europa-Azja // Konferencja Międzynarodowa «Multimodalne Korytarze Transportowe Europa-Azja». – Poznan, 1997. – S. 45-58.

УДК 656.2

*Вадим Іванов
Віталій Косенко
Олександр Осколков*

ДОСВІД МОДЕРНІЗАЦІЇ МАНЕВРОВИХ ЛОКОМОТИВІВ ТГМ З ВСТАНОВЛЕННЯМ ГІДРОПЕРЕДАЧІ VOITH

Ситуація з оновленням парку маневрових локомотивів промислових підприємств є надзвичайно критичною, оскільки навіть за наявності необхідних коштів експлуатаційникам не можуть бути запропоновані локомотиви, що відповідають сучасним вимогам. В статті проаналізований досвід модернізації локомотива ТГМ6 на Новолипецькому металургійному комбінаті, де замість гідропередачі УГП1200 була вбудована гідропередача L5r4 U2a виробництва VOITH.

Ситуация с обновлением парка маневровых локомотивов промышленных предприятий является чрезвычайно критической, поскольку даже при наличии необходимых средств эксплуатационникам не могут быть предложены локомотивы которые отвечали бы современным требованиям. В статье проанализирован опыт модернизации локомотива ТГМ6 на Новолипецком металлургическом комбинате, где вместо гидропередачи УГП1200 была встроена гидропередача L5r4 U2a производства VOITH.

Situation with locomotives renewal for industrial plants is very critical, because even having enough money operators can't buy the locomotives, that would satisfy their modern requirements. In article is analyzed experience of TGM6 locomotive modernisation in Novolipetskiy still plant, where Voith turbo transmission L5r4 U2a was installed in place of turbo transmission УГП1200.

Ключові слова: локомотиви, модернізація, гідропередачі.

Проблема поповнення парку рухомого складу залізничного транспорту є актуальною практично для всіх видів рухомого складу. Особливо критичною є ситуація з оновленням парку маневрових локомотивів. У промислових підприємств або відсутні кошти на придбання нових локомотивів, або ж за наявності коштів відсутня пропозиція тягового рухомого складу, що міг би задовольнити вимоги підприємств щодо відповідності конструкцій умовам експлуатації, підвищення технічної готовності та продуктивності роботи, зменшення витрат палива та підвищення екологічної безпеки, скорочення витрат на обслуговування та ремонт.

© Іванов В. Б., Косенко В. І., Осколков О. Г., 2011

Велику потребу в маневрових локомотивах відчують, зокрема, металургійні підприємства України та інших країн СНД. Адже лише на 5 провідних українських підприємствах («Арцелор Міттал» Кривий Ріг, Маріупольський комбінат ім. Ілліча, Алчевський меткомбінат, «Азовсталь», «Запорозжсталь») знаходяться в експлуатації більше ніж 200 локомотивів ТГМ4 та ТГМ6, що гостро потребують заміни або модернізації. Дизель-гідролічні локомотиви, розроблені ще за часів СРСР, відверто не відповідають сучасному рівню розвитку локомотивобудування, а переважна більшість локомотивів використовується за межами встановлених термінів експлуатації, що призводить до зростання витрат на їх утримання та ремонт. Експлуатація застарілого як фізично, так і морально парку локомотивів негативно впливає на рівень економічності та безпеки перевезень, а також значно погіршує далеко не найкращу екологічну ситуацію на металургійних комбінатах.

Проблема забезпечення надійними маневровими локомотивами, що придатні для використання в умовах цехів меткомбінатів з їх малими радіусами повороту, високими рівнями температури та запиленості, постійними буксуваннями коліс є настільки актуальною, що виносилася на спеціально проведеній у 2009 році на базі ММК ім. Ілліча за участі Прем'єр-міністра України нараді з керівниками металургійних підприємств. За її результатами було прийняте рішення про створення вітчизняного маневрового локомотива, придатного до використання в специфічних умовах цехів металургійних підприємств. Проте за відсутності відповідного фінансування розробка даного проекту практично не розпочиналась.

На жаль, виробники країн СНД, в першу чергу Росії, також не можуть запропонувати маневровий локомотив, що відповідав би очікуванням металургів та транспортників інших промислових підприємств. Розроблений ще на початку 80-х років ТГМ40 позиціонувався як альтернатива ТГМ23, проте слабким місцем обох локомотивів є обмежений моторесурс дизельного двигуна 1Д12-400, а також ресурс гідропередачі УГП400 виробництва Калужського заводу. Останнім часом з'явилися відомості про виготовлення поліпшеного варіанта локомотива ТГМ40, який здобув назву ТГМ50, з підвищенням потужності та зростанням з 1 до 1,5 тис. т маси потягів. Головною відмінністю локомотива є оснащення більш потужним двигуном ТМЗ 85227.10 Тутаєвського моторного заводу (можуть також комплектуватись двигунами CAT або Cummins), а також гідропередачею Voith. В лінії привода використані також високоеластична муфта, карданний вал та гідростатичний привод компресора та вентилятора виробництва Voith. Нові агрегати забезпечують підвищення ресурсу локомотива, а також скорочення витрат на технічне обслуговування та ремонт. Зокрема ресурс гідропередачі Voith до капітального ремонту складає 30 000 мотогодин, а роботи з технічного обслуговування та ремонтів обмежуються лише замінами масла, промивкою фільтрів, перевіркою елементів управління передачі. При цьому гідропередача розрахована на виконання 3-х капітальних ремонтів і таким чином загальний ресурс складає 120 000 мотогодин.

При використанні в маневрових локомотивах гідродинамічних передач Voith їх традиційно висока надійність, мінімальні експлуатаційні витрати поєднуються із відносно невеликими капіталовкладеннями в порівнянні з дизель-електричними локомотивами, коли це належить до високих потужностей в 650-1500 kW. Турбореверсивні трансмісії Voith для маневрових локомотивів дають широкий вибір конструкцій в діапазоні від 190 до 300 kW (L1r2, L2r4z, L2r2z), від 530 до 650 kW (L3r2, L34z), від 1050 до 1500 kW (L4r4z, L5r4z). Особливість їх конструкцій

полягає в застосуванні багатопоточної схеми передачі енергії з використанням одного або двох гідротрансформаторів для кожного з напрямків руху та залежно від типу механічної коробки перемикачів для малої або високої швидкості. В кінцевому результаті це дозволяє значно заощадити кошти на паливо, зменшити експлуатаційні витрати. Переваги гідропередач Voith давно оцінили такі виробники локомотивів, як Socofer, Plasser, Speno, CFD, GBM, Bombardier, Adtranz, Vossloh, Siemens та інші.

Проте загальний стан підприємств транспортного машинобудування не дозволяє розраховувати на швидке оновлення парку маневрових локомотивів з використанням традиційних постачальників з СНД. Так, наприклад, основний в СНГ виробник тепловозів для промислового транспорту Людинівський тепловозобудівний завод в 1989 році випустив 630 локомотивів, а останнім часом випускає не більше 50 локомотивів на рік. За існуючих показників старіння парку промислових локомотивів та випуску нових машин їх повне оновлення можливе не раніше, ніж за 60 років.

Тому як реальний шлях підвищення рівня технічної готовності та ефективності експлуатації промислового транспорту слід також розглядати використання нових більш сучасних агрегатів при модернізації існуючого парку дизель-гідралічних локомотивів. Зважаючи на це, цікавим є досвід Новолипецького металургійного комбінату, де реалізований пілотний проект по модернізації локомотива ТГМ6 із заміною гідропередачі УГП1200 виробництва «Калугапутьмаш» на надійну та ефективну передачу Voith L5r4 U2a (рис.1). Проект модернізації виконаний за участі конструкторів Людинівського тепловозобудівельного заводу за дорученням та за рахунок фірми Voith.

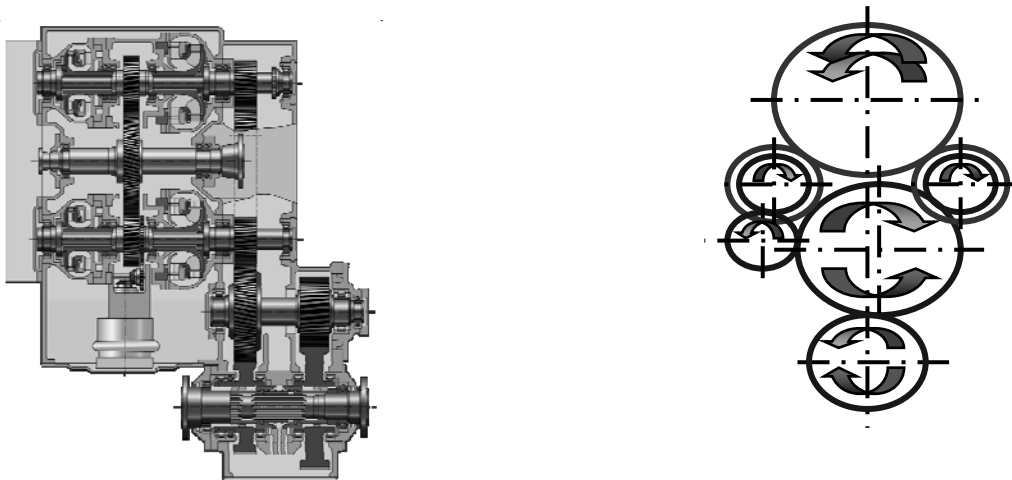


Рис. 1. Конструкція гідропередачі Voith L5r4 U2a та схема роботи

Комплект обладнання, що поставлене Voith, складається з:

- адаптованої до локомотива гідропередачі L5r4 U2a;
- карданного валу;
- високоеластичної муфти;
- вкладишів опор кріплення гідропередачі на рамі локомотива;
- теплообмінника системи охолодження масла гідропередачі.

Турбореверсивна гідропередача Voith L5r4 U2a оснащена двома гідротрансформаторами або перетворювачами крутного моменту для кожного з напрямків руху та автоматичним обмежувачем гальмівного зусилля, має 2 вихідні фланці та призначена для використання у важких маневрових локомотивах або універсальних локомотивах потужністю до 1170 кВт. Для локомотивів ТГМ4 та ТГМ6 можливе також використання гідропередачі Voith L4r4 zse, що розрахована на потужність двигуна до 1000 кВт. Гідропередачі Voith L5r4 U2a та Voith L4r4 zse характеризуються надзвичайно високими показниками надійності. Так, середній пробіг локомотива без відмов складає 66760 км.

В процесі модернізації локомотива ТГМ6 були виконані проектні роботи відносно корпусів опор гідропередачі, місць встановлення теплообмінника (рис. 2), центрування карданних валів (рис. 3), монтажу високоеластичної муфти, розробка електричної схеми підключення гідропередачі до системи управління локомотивом.



Рис. 2. Забудова гідропередачі Voith L5r4 U2a та теплообмінника в модернізованому локомотиві ТГМ6

Випробування гідропередачі передбачали її використання в загальмованому локомотиві на всьому діапазоні регулювання дизеля в обох напрямках, експлуатаційні випробування протягом 72 годин безперервної роботи локомотива з транспортуванням потяга масою 1400 т, а також постійний візуальний контроль стану гідропередачі та допоміжного обладнання на всіх режимах роботи. З березня 2011 став можливим перехід до експлуатації локомотива ТГМ6А на транспортуванні агломерату до доменних печей поїздами масою до 1500 т на дільниці з підйомом біля 14 %. При цьому була підтверджена правильність геометрії силової лінії, забезпечення гідропередачею режимів руху, гальмування та реверсу, плавний пуск та відсутність резонансних коливань завдяки

високоеластичній муфті, дотримання регламентованої температури масла, що не перевищувала 95 С.

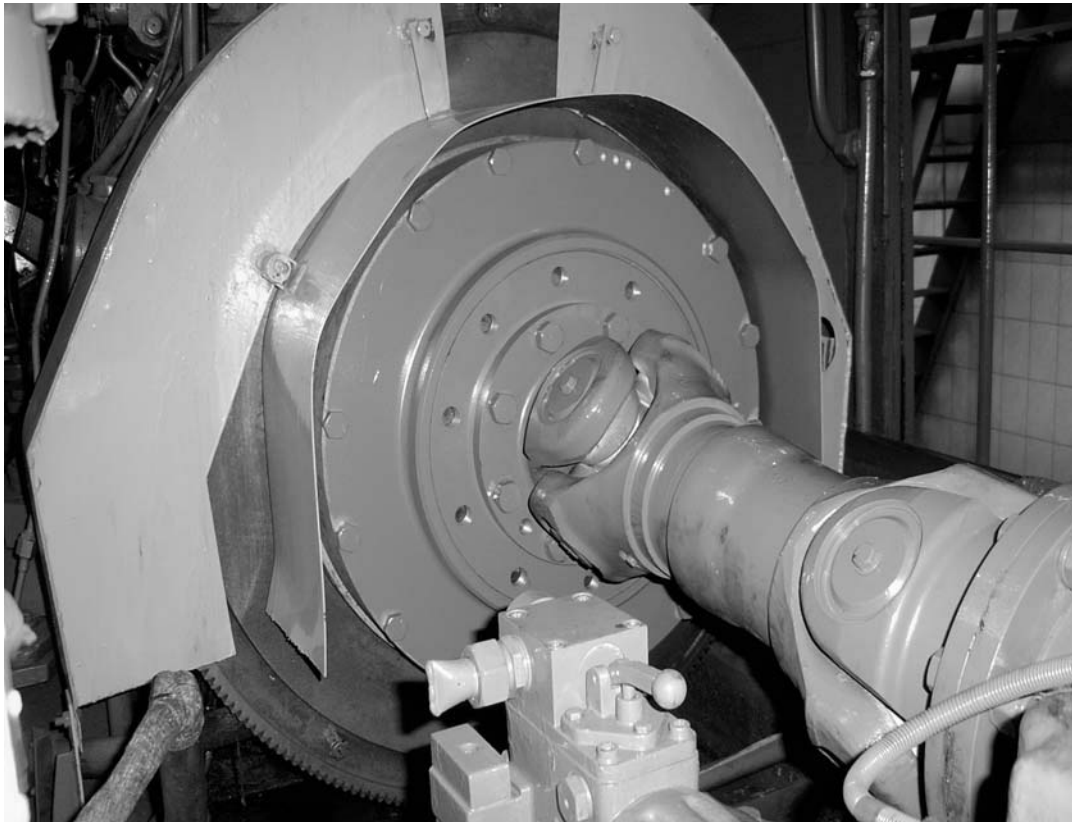


Рис. 3. Забудова високо еластичної муфти та карданного валу Voith

Експлуатація модернізованого локомотива підтвердила високі показники надійності та технічної готовності, скорочення на 5 % витрат палива, що забезпечується підвищенням ККД гідропередачі. В гідропередачі повністю відсутні втрати трансмісійного масла, що відповідає сучасним екологічним вимогам. Більш комфортно стала робота машиніста.

Виконані роботи з модернізації, а також досвідна експлуатація локомотива дозволяють зробити висновки про загальне скорочення витрат на технічне обслуговування та ремонт. Розрахунки витрат на ТО і ремонт до капітального ремонту для гідропередач УГП1200 та Voith L5r4 U2a доводять, що трудовитрати зменшуються з 364,7 люд.-годин до 7,5 люд.-годин, в 10 разів зменшується кількість відмов і відповідно тривалість простоїв, значно підвищується технічна готовність локомотивів. За розрахунками НЛМК економія витрат за період до капітального ремонту складає 13 255 624 руб. або більше 3 млн. гривень.

Підвищення технічної готовності дизель-гідролічних локомотивів шляхом заміни двигуна на більш сучасний та калузької гідропередачі на гідропередачу Voith розглядають як ефективний напрямок розвитку виробничого потенціалу також і деякі виробники рухомого складу. Зокрема, модернізацію локомотивів

ТГМ4 та ТГМ6 пропонує ОАО «Синара-транспортні машини» (Єкатеринбург). Їх проект передбачає заміну двигуна разом із гідропередачею на двигун Уральського або Коломенського заводів, та гідропередачу Voith, заміну візків, кабіни машиніста, що встановлюється на гумово-металевих амортизаторах та відділяється від інших деталей гумовими ущільненнями, заміну гальмівного компресора на ВУ 3,5/10-1450.

УДК 629.463.125

*Вадим Ищенко
Владимир Кулешов
Андрей Мельничук*

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ lgp-i ДИАГРАММЫ

Изложены основные положения разработки методики диагностирования холодильных машин подвижного состава с использованием lgp-i диаграммы.

Викладені основні положення розробки методики діагностування холодильних машин рухомого складу з використанням lgp-i діаграми.

The basic provisions of the development of methods of diagnosing cold rolling machines with lgp-i diagram.

Ключевые слова: подвижной состав, холодильная машина, диагностирование, техническое состояние, lgp-i диаграмма, неисправность.

Введение. В период эксплуатации подвижного состава в работе холодильного оборудования могут произойти неисправности, влекущие за собой частичное или полное нарушение режима работы. В настоящее время, для определения технического состояния узлов и агрегатов холодильного оборудования и вагонов, повышается значение технической диагностики. За последние годы на железных дорогах Украины и других государств техническая диагностика все больше внедряется в технологические процессы обслуживания и ремонта вагонов. Это в свою очередь требует разработки методик диагностирования холодильного оборудования подвижного состава с учетом специфики эксплуатации, технического обслуживания и ремонта вагонов.

Постановка задачи. Техническое состояние холодильного оборудования включает в себя три взаимосвязанных фактора: теплотехнические и энергетические показатели отдельных узлов и холодильной машины в целом и механическое состояние кинематических пар и сопряжений, входящих в отдельные узлы. Состав и порядок проведения проверок технического состояния составных частей и всей холодильной машины, а также правила анализа их результатов устанавливает алгоритм технического диагностирования.

В реальных условиях алгоритм диагностирования часто предусматривает на первом этапе функциональное диагностирование, с целью интегральной оценки технического состояния холодильной машины, а затем тестовое диагностирование, для поиска дефекта [1].

© *Ищенко В. М., Кулешов В. П., Мельничук А. В., 2011*

При тестовом диагностировании холодильной машины возникает необходимость определения неисправности до уровня отдельного элемента (компрессора, конденсатора, испарителя, терморегулирующего вентиля и т.д.). В этом случае для оценки работоспособности оборудования холодильной машины требуются тесты с большой разрешающей способностью, под которой понимают объем выдаваемого тестом информации.

Значительный объем диагностической информации без разборки оборудования холодильной машины содержит реальный цикл, построенный в lgr-i диаграмме. Исследуя реальный холодильный цикл путем измерения параметров в отдельных точках холодильной машины, можно оценить по lgr-i диаграмме отклонение реального цикла от нормы и определить характер неисправности холодильной машины [2].

Исходя из вышеизложенного предлагается для поиска неисправности холодильной машины использовать lgr-i диаграмму.

Анализ исследований и публикаций. Вопросам технического диагностирования холодильного оборудования подвижного состава железных дорог посвящены работы отечественных, зарубежных ученых и специалистов.

Анализ показал, что в большинстве работ рассматриваются вопросы функционального диагностирования с целью интегральной оценки технического состояния холодильных машин и тестового диагностирования отдельно взятого оборудования (компрессоры, аппараты, приборы автоматики и т.д.) на специальных стендах в условиях вагоноремонтных предприятий. Также рассматриваются общие вопросы и приведены примеры исследования реального цикла для определения неисправности холодильной машины по lgr-i диаграмме.

При этом недостаточно рассмотрены вопросы связанные с разработкой методики диагностирования холодильных машин подвижного состава с использованием lgr-i диаграммы.

Цель работы. Разработка методики диагностирования холодильных машин подвижного состава с использованием lgr-i диаграммы.

Основной материал. В подвижном составе железных дорог применяются фреоновые парокompрессионные холодильные машины.

Для оценки технического состояния и определения возможных неисправностей холодильных машин подвижного состава предлагается методика диагностирования, которая предусматривает на первом этапе измерение основной внешней характеристики холодильной машины – холодопроизводительности, что позволяет оценить общее техническое состояние холодильной машины и имеющиеся отклонения от нормальной работы, а затем, при необходимости, тестовое диагностирование с использованием диаграммы lgr-i для поиска неисправности.

Для определения холодопроизводительности холодильной машины предлагается использовать уравнение [3]:

$$Q_0 = \lambda V_h q_v,$$

где Q_0 – холодопроизводительность, Вт;

λ – коэффициент подачи компрессора;

V_h – объем описанный поршнями компрессора за единицу времени, м³/с;

q_v – удельная объемная холодопроизводительность всасываемых паров хладагента, Дж/м³.

Експериментально отримане при діагностуванні значення холодопродуктивності порівнюється з номінальним її значенням і визначається розходження. При різниці значень більше 15% виконують тестове діагностування холодильної машини для пошуку несправності з використанням Igp-i діаграми [4].

Основними причинами несправностей парокompresіонних холодильних машин з поршневыми компресорами являються:

- износ поршневой и клапанной группы компрессора;
- нарушение плотности системы циркуляции хладагента;
- нарушение настройки приборов автоматики или их неисправность;
- наличие в системе машины воздуха, воды, грязи.

Причины определяют характер неисправности и отклонения холодильного цикла машины от нормального значения.

Для исследования реального холодильного цикла по Igp-i диаграмме, при установившемся рабочем режиме необходимо измерить температуру и давление хладагента в характерных точках холодильной машины, перегрев испарителя, переохлаждение конденсатора.

На рис. 1 приведена схема размещения измерительных приборов для диагностирования холодильной машины ВР-18х2-1-2 секции РС-4.

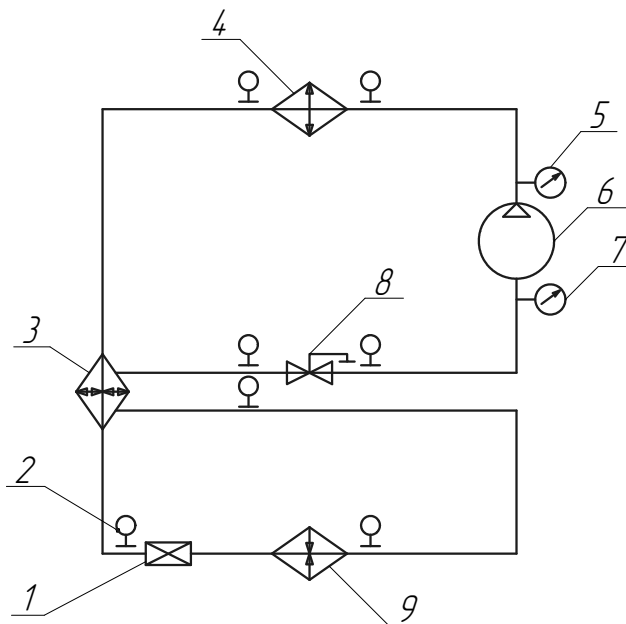


Рис. 1. Схема размещения измерительных приборов при диагностировании холодильной машины ВР-18х2-1-2 рефрижераторной секции РС-4:

1 – терморегулирующий вентиль; 2 – датчик температуры; 3 – теплообменник; 4 – конденсатор; 5 – манометр; 6 – компрессор; 7 – мановакуумметр; 8 – автоматический дроссель давления; 9 – испаритель.

По измеренным значениям рабочих параметров хладагента в характерных точках холодильной машины в lgp-i диаграмме строится цикл холодильной машины и оцениваются возможные отклонения от нормального режима работы.

На рис. 2 представлена lgp-i диаграмма неисправности компрессора, когда давление конденсации ниже нормы, в то время как давление кипения превышает допустимое значение. Подобное может происходить из-за неисправности нагнетательного или всасывающего клапанов компрессора.

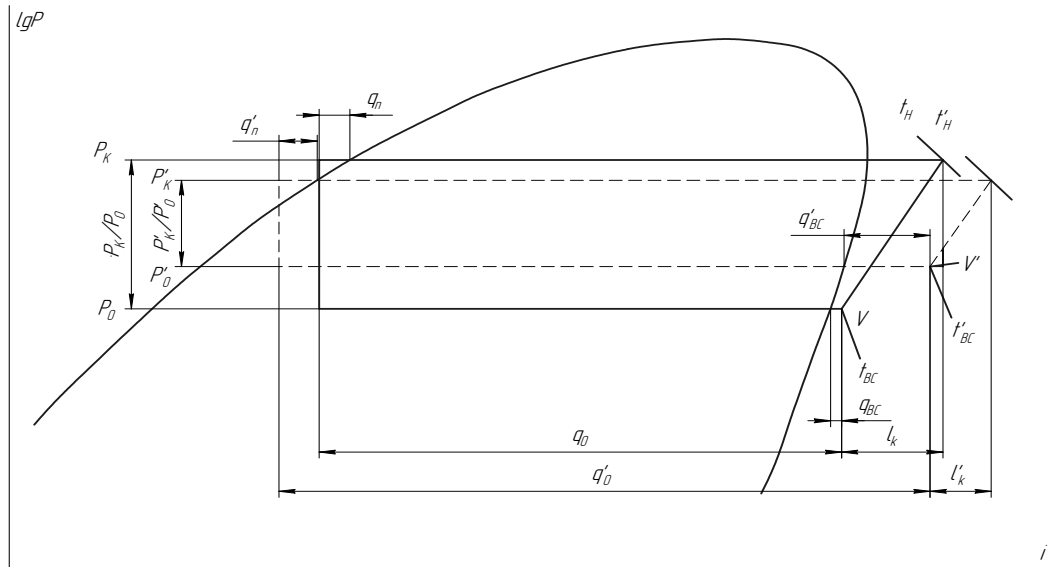


Рис. 2. lgp-i диаграмма при неисправности компрессора

В табл. 1 приведены изменения параметров холодильного цикла в lgp-i диаграмме при неисправности компрессора.

Таблица 1

Изменения параметров рабочего цикла при неисправности компрессора

Измеряемый параметр	Отклонение параметра
Давление конденсации, P_k	Понижается
Давление кипения, P_0	Повышается
Температура нагнетания, t_n	Повышается
Температура всасывания, t_{bc}	Повышается
Перегрев, q_{bc}	Повышается
Переохлаждение, $q_{п}$	без изменений
Степень превышения давления, P_k/P_0	Понижается
Удельная массовая холодопроизводительность, q_0	Повышается
Удельная работа сжатия компрессора, l_k	повышается незначительно

В табл. 2 приведено несколько примеров отклонения lgr-i диаграммы от нормы и причины этих отклонений (неисправностей).

Таблиця 2

Изменение параметров при неисправности холодильной машины

Неисправность	Изменение параметра			Причина
	повышается	понижается	без изменения	
1. Высокое давление в конденсаторе («Слабый» конденсатор)	$P_k, P_o, t_n, t_{bc}, I_k, P_k/P_o$	q_o	$q_{bc}, q_{п}$	– отсутствие обдува конденсатора, – высокая наружная температура, – загрязнение конденсатора, – наличие в системе воздуха
2. Низкое давление кипения	$t_n, t_{bc}, q_{bc}, I_k, P_k/P_o$	$P_k, P_o, q_{п}, q_o$		– недостаточное количество хладагента в системе, – недостаточное количество хладагента проходит через терморегулирующий вентиль (ТРВ)
3. Высокое давление конденсации и кипения	$P_k, P_o, q_{п}$	$t_n, q_{bc}, q_o, I_k, P_k/P_o$	t_{bc}	– неточно отрегулирован ТРВ, – неплотно установлен термобаллон ТРВ
4. Низкое давление кипения («Слабый» испаритель)	$I_k, P_k/P_o$	$P_k, P_o, t_n, t_{bc}, q_{bc}, q_o$	$q_{п}$	– недостаточный поток воздуха проходит через испаритель
5. Снижение переохлаждения	$P_k, P_o, t_n, t_{bc}, q_{bc}, I_k$	$q_{п}, P_k/P_o, q_o$		– повышенный теплоприток, – недостаточная холодопроизводительность

По результатам тестового диагностирования с использованием lgr-i диаграммы определяется причина и сама неисправность холодильной машины, которая в последствие устраняется.

Выводы:

1. Разработанная методика диагностирования холодильного оборудования подвижного состава железных дорог позволяет оценить техническое состояние и выявить возможные неисправности холодильных машин.
2. Анализ реального холодильного цикла по lgr-i диаграмме дает достаточную диагностическую информацию для определения причин и самой неисправности холодильной машины.

3. Разработанная методика диагностирования позволяет обнаружить неисправности оборудования без разборки холодильных машин при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте подвижного состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов М. М. Диагностирование вагонов. – М.: Транспорт, 1990. -197с.
2. Нимич Г. В, Михайлов В. А., Бондарь Е. С. Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха. – К.: ТОВ «Видавничий будинок» «Аванпост Прим», 2003. – 603 с.
3. Бартош Е. Т. Энергетика изотермического подвижного состава. – М.: Транспорт, 1976.– 304 с.
4. Борзилов І. Д. Удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту вагонів засобами технічної діагностики. (Частина 2): Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – 83 с.

УДК 629.4.016.1

Сергій Матвієнко

**ВИБІР РЕЖИМІВ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПОЇЗДА
ПРИ ВИКОНАННІ
ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ**

У статті наведено результати дослідження проблеми вибору режимів керування рухом поїзда, які б забезпечували мінімізацію витрат паливно-енергетичних ресурсів на тягу. Запропоновано використання статистичного моделювання тягово-енергетичних розрахунків на ЕОМ при варіюванні впливу основних експлуатаційних параметрів складу та інфраструктури. Аналізується алгоритм таких розрахунків і результати його програмної реалізації.

В статье приводятся результаты исследования проблемы выбора режимов управления движением поезда, которые обеспечивали бы минимизацию расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу. Предложено использование статистического моделирования тягово-энергетических расчетов на ЭВМ при варьировании влияния основных эксплуатационных параметров состава и инфраструктуры. Анализируются алгоритм таких расчетов и результаты его программной реализации.

The article presents the results of research on the choice of control modes of the train, which will ensure the minimization of fuel and energy resources in the draft. Proposed use of statistical modeling of traction-energy calculations on a computer at varying influence of the basic operational parameters of the train and infrastructure. Algorithm analyzes the results of such calculations and its software implementation.

Ключові слова: режим керування, поїзд, критерій оптимальності, тягово-енергетичні розрахунки.

Постановка проблеми та актуальність її дослідження. Питання, винесене у заголовок статті, становить важливу науково-технічну проблему, яка стоїть наразі перед вітчизняним залізничним транспортом. Викликана вона перш за все необхідністю підвищення ефективності експлуатації існуючого і перспективного тягового рухомого складу в умовах дефіциту паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Прямим шляхом її практичної реалізації є створення комплексної системи автоматичного керування рухом поїзда («автомашиніста»). Крім того, розв'язок названої проблеми пов'язаний із вирішенням низки важливих питань, таких як складання енергооптимального графіка руху поїздів, створення тренажерних технологій, автоматизованих програм нормування витрат ПЕР тощо.

© Матвієнко С., 2011

Аналіз попередніх досліджень і публікацій свідчить, що задача визначення енергетично оптимального режиму керування рухом поїзда може виникати як у режимі реального часу (у системах автомашиніста), так і при виконанні тягово-енергетичних розрахунків (ТЕР).

У першому випадку ключовим є пошук оптимального керування від будь-якої поточної точки ділянки до кінцевої (контрольної) точки із забезпеченням мінімізації витрат ПЕР і виконанням усіх вимог безпеки руху. Такий пошук повинен мати швидкий алгоритм для забезпечення оперативності прийняття рішень, а також має враховувати фактичні характеристики локомотива поїзда та інфраструктури. При цьому додаткові труднощі викликає необхідність адекватного прогнозу зміни цих характеристик (головним чином, параметрів інфраструктури) на подальшій ділянці.

Дослідити вплив змінних експлуатаційних факторів на енергетичні показники тяги поїздів можливо завдяки моделюванню тягово-енергетичних параметрів поїзда на ЕОМ. Швидкодія оптимізаційного алгоритму в цьому випадку не є суттєвою, але має забезпечувати багатоваріантні розрахунки за практично прийнятний проміжок часу. Основними задачами моделювання може бути оцінка стійкості оптимального керування при варіюванні факторів, які впливають на рух поїзда в експлуатації, а також визначення статистичних закономірностей між цими факторами та витратами енергоносіїв, що необхідно для обґрунтованого нормування витрат тягових ПЕР.

Дослідженням проблем оптимізації режимів водіння поїздів у різні роки займалися такі дослідники, як Л. А. Баранов, Є. П. Блохін, Я. М. Головічер, Є. В. Єрофєєв, А. М. Костромін, В. М. Максимов, О. О. Моїсєєв, Л. Є. Садовський, В. М. Сидельніков, В. В. Скалозуб, Л. Скїва, Б. Г. Постол та ін. Можна зробити висновок, що найбільш продуктивно застосовуються зараз алгоритми на основі принципу максимуму [1], методів динамічного програмування [2], а також із застосуванням ітераційного наближення до оптимального розв'язку [3].

Згадані роботи спрямовані в першу чергу на створення систем автомашиніста. Результати початкового етапу впровадження таких систем на мережі ВАТ «РЖД», висвітлені в роботі [4], свідчать про необхідність їх доопрацювання.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Разом із тим, проблемам вибору режимів під час статистичного моделювання ТЕР приділяється залишкова увага. З відомих необхідно відзначити роботу [2], де аналізується вплив змінної напруги контактної мережі на стійкість оптимального керування електровозами змінного струму в умовах оптового ринку електроенергії. Оптимізація керування у розрахунках з нормування витрат ПЕР, запропонованих у роботі [5], дозволила б підвищити їхню достовірність; це сприяло б як дотриманню встановлених норм на практиці, так і початку впровадження енергоефективних режимів водіння поїздів.

Метою статті є висвітлення проміжних результатів роботи з оптимізації режимів керування поїздом при статистичному моделюванні ТЕР на ЕОМ.

Викладення основного матеріалу. Математичне описання моделі поїзда спирається на класичні положення теорії локомотивної тяги, уявлення про поїзд як об'єкт керування, а також основні розрахункові залежності, визначені в нормативній літературі [6].

Питання теоретичного описання руху поїзда докладно розроблені у згаданих джерелах, однак складності виникають при практичній реалізації моделі у

обчислювальних алгоритмах. Основні числові параметри математичної моделі руху поїзда для задач оптимізації визначені в роботі [7], де обґрунтовано вибір скінченнорізницевої схеми для інтегрування диференційного рівняння руху, а також параметрів сітки фазових координат, з міркувань прийнятної точності обчислень; крім того, оцінено підвищення точності розрахунків при врахуванні впливу розподіленої маси складу.

Формалізація задач оптимального керування вимагає також визначення критерія оптимізації, за яким необхідно оцінювати міру оптимальності процесу для прийнятої стратегії керування. Вираз для обчислення такого критерію має бути зручним як для аналізу, так і для алгоритмізації обчислень. Найповніше визначити ефективність процесу перевезень можна за адитивним критерієм – зведеними витратами на перевезення [1]:

$$C_{ен} = H = c_{ен}A_{ен} + c_w A_w + c_b A_b + c_z T_{ходу} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $c_{ен}$ – вартість одиниці витрачених енергоресурсів на тягу;

c_w, c_b – відповідно витрати на ремонт рухомого складу та колії, які припадають на одиницю роботи сил опору руху та гальмування;

c_z – вартість однієї поїздо-години;

$A_{ен}$ – витрати енергоресурсів (палива або електроенергії) на тягу поїзда;

A_w, A_b – відповідно робота сил опору руху та гальмування;

$T_{ходу}$ – час проходження поїздом ділянки.

Для конкретної заданої ділянки час $T_{ходу}$, зазвичай, фіксований графіком руху поїздів. Тоді вимога точного витримання встановленого часу $T_{ходу}$ складатиме зміст інтегрального обмеження на режими керування поїздом (ізопериметрична умова). Крім того, для спрощення розрахунків приймають, що витрати на ремонт c_w та c_b пропорційні витратам енергоносіїв на тягу і містяться у витратній ставці одиниці ПЕР на тягу.

У такому випадку, для знаходження екстремуму критерію оптимальності при наявності ізопериметричної умови використовують метод невизначених множників Лагранжа [1], згідно з яким мінімізують функціонал

$$H^* = H + \lambda T_{ходу} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де H – сумарні витрати енергії під час руху;

λ – множник Лагранжа.

Залежність значення λ від потрібного $T_{ходу}$ є в першому наближенні оберненопропорційною.

Витрати енергії H можна підраховувати як за величиною механічної енергії усіх сил опору (A_w, A_b) із урахуванням зміни кінетичної енергії, так і за витраченою енергією джерела потужності $A_{ен}$. Так, для електровозів витрати електроенергії в кожний момент часу визначаються добутком струму електровоза на напругу в контактній мережі:

$$H = A_{ен}^{ел} = \int_0^{T_{ходу}} (U_{км}^m I_e^m(v, u) - U_{км}^p I_e^p(v, u)) dt, \quad (3)$$

де $U_{км}^m, U_{км}^p$ – напруга в контактній мережі відповідно в режимі тяги та рекуперативного гальмування;

$I_{км}^m(v,u)$, $P_{км}(v,u)$ – струм електровоза (із урахуванням навантаження допоміжних кіл), заданий режимом u , відповідно в режимі тяги та рекуперативного гальмування.

Для тепловозів витрати палива визначаються за статичною витратною характеристикою дизеля із врахуванням витрат потужності на привод допоміжних машин і механізмів:

$$H = A_{ен}^{мен} = \int_0^{T_{ходу}} G(v,u) dt, \quad (4)$$

де $G(v,u)$ – питомі витрати палива на одиницю часу.

Умови експлуатації накладають ряд обмежень на область пошуку оптимального керування. Наприклад, часто потребує обмеження кількості перемикачів контролера M , що характеризує стійкість керування, з точки зору надійної комутації електричних апаратів:

$$M \leq M_{\max}, \quad (5)$$

де M_{\max} – максимально допустима кількість перемикачів контролера.

Для врахування інтегрального обмеження як нестрокої нерівності (5) у роботі [1] запропоновано застосування адитивного критерію оптимальності з ваговими коефіцієнтами перед відповідними обмеженнями.

Важливим з точки зору надійності експлуатації тягових електричних машин, є обмеження температури перегріву їх обмоток τ деякою допустимою величиною τ_{\max} :

$$\tau \leq \tau_{\max}. \quad (6)$$

Тоді, застосовуючи запропонований у [1] підхід, можна записати вираз узагальненого критерію оптимальності:

$$H^* = H + \lambda_1 T_{ходу} + \lambda_2 M + \lambda_3 \tau \rightarrow \min, \quad (7)$$

де $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – вагові коефіцієнти впливу відповідно часу ходу, кількості перемикачів та перегріву.

Коефіцієнти λ_1, λ_2 і λ_3 мають також сенс неявних одиничних вартісних ставок тих ресурсів (факторів), які визначаються обмеженнями. Конкретні значення коефіцієнтів залежать від особливих умов задачі і визначаються після попередніх розрахунків: після проведення моделювання із довільним значенням λ_1 та $\lambda_2 = \lambda_3 = 0$ визначається, чи виходять параметри M та τ за встановлені межі; в такому випадку збільшується значення вагового коефіцієнта того фактора, який потребує зменшення, а потім виконується підбір такого значення λ_1 , яке відповідає заданому часу ходу.

За пропонуванням узагальненим критерієм можна виконувати оптимізаційні розрахунки з використанням одного з відомих методів, описаних, наприклад, у [8]. Наявність значної кількості обмежень на фазові координати (обмеження швидкості у прив'язці до координат шляху, обмеження множини можливих керувань для певної швидкості), дискретне задання профілю колії, а також необхідність урахування змінного характеру коефіцієнта корисної дії (ККД) локомотива ускладнює застосування методів теорії варіаційного числення та принципу максимуму. Найбільш дієвими можна визначити дискретний варіант методу динамічного програмування, загальна схема якого для оптимізації режимів ведення поїзда детально розроблена у [1, 9]. Обмеження на фазові координати при цьому

методі враховуються шляхом звуження множини конкурентних траєкторій на кожному n -му кроці за мінімумом критерію

$$H^*_n = \min_{u_n \in U, v_n \in V_{\text{дон}}(s_n)} \left[H^*_{n-1} + f(A_{en\ n}, t_n, M_n, \tau_n) \right], \quad (8)$$

де H^*_{n-1} – накопичене значення критерію оптимальності до поточного кроку;

$f(A_{en\ n}, t_n, M_n, \tau_n)$ – вираз для критерію оптимальності на поточному кроці;

$U, V_{\text{дон}}(s_n)$ – відповідно множина допустимих керувань і допустимий діапазон швидкостей на поточному кроці.

Визначені таким чином основні параметри математичної моделі та прийняті методи оптимізаційних розрахунків були покладені в основу програми ТЕР, загальна схема алгоритму якої наведена на рис.1. Складовими частинами програми є блоки підпрограм 3 та 4, в яких виконується спрямлення ухилів (з урахуванням опору від кривих) для кожного кроку інтегрування рівняння руху (динамічне спрямлення профілю під поїздом), а також розрахунок екстремалей – кривих зупинного гальмування та гальмування перед обмеженнями швидкостей (з урахуванням витримки обмеження за всією довжиною складу). Оскільки виконання проби гальм на шляху прямування є важливою вимогою безпеки руху, у блоці 4 також задається координата шляху та швидкість початку гальмування, встановлені наказом за залізницею. Залежно від мети конкретного моделювання (дослідження впливу коливань напруги, зміни коефіцієнта зчеплення тощо) у блоці 5 формуються закони зміни випадкових складових моделей; статистичні характеристики законів розподілу можуть бути отримані, наприклад, за результатами експлуатаційних тягово-експлуатаційних випробувань. У блоці 6 задаються початковий (існуючий) розподіл перегінних часів ходу, а також коефіцієнти λ_2 та λ_3 критерію (7), які є сталими для даної ділянки. Оптимізаційні розрахунки для різних часів ходу за окремими перегонами забезпечують блоки 7–10. Встановлено, що для отримання режиму із зміненням часу ходу на 0,5...1,0 хв коефіцієнт λ_1 доцільно задавати окремо для ділянки перед пробою гальм та після неї. Отриманий набір режимів керування для деякого діапазону часів ходу за кожним перегонем зберігається у постійній пам'яті ЕОМ. За допомогою блоків 12–13 ці розрахунки повторюються для всіх можливих комбінацій значень заданих випадкових факторів. За отриманими в результаті таких розрахунків залежностями виду $A_{en} = f(T_{\text{ходу}})$ виконується оптимальний розподіл графікового часу за окремими перегонами (блок 14). У блоці 15 визначається режим, який забезпечує стійке раціональне керування поїздом при розрахованих перегінних часах руху, а також розраховується відповідна йому норма витрат тягових ПЕР.

Описаний алгоритм було реалізовано у програмі ТЕР, яка складена засобами пакету MATLAB. Інтерфейс програми дозволяє зручно вводити всю необхідну інформацію для розрахунків (характеристики локомотивів і складу поїзда, профілю колії, обмеження швидкості) як у режимі введення оператором, так і шляхом імпорту з відповідних баз даних.

Найважливішою оцінкою обчислювальної здатності програми з використанням алгоритмів динамічного програмування є її швидкодія, яка залежить від кількості режимів, що порівнюються на одному кроці інтегрування рівняння руху. Для випадку електричної тяги постійного струму, а також тепловозної тяги, на кожному кроці виконується варіювання 16 режимів (15 ходових позицій керування та режим вибігу); для електровозів, обладнаних системою рекуперативного гальмування, на

встановлених ділянках застосування рекуперації у розрахунок додатково вводяться до 15 гальмових позицій. Швидкість розрахунків із такою кількістю режимів склала ~0,7 с на кілометр шляху (при тактовій частоті процесора 3x3,31 ГГц), що є прийнятним для проведення багатоваріантних розрахунків. Варто зазначити, що цей показник на порядок менший, ніж у програми із використанням методів варіаційного числення [10], при досягненні аналогічних результатів із розрахунку режимів керування.

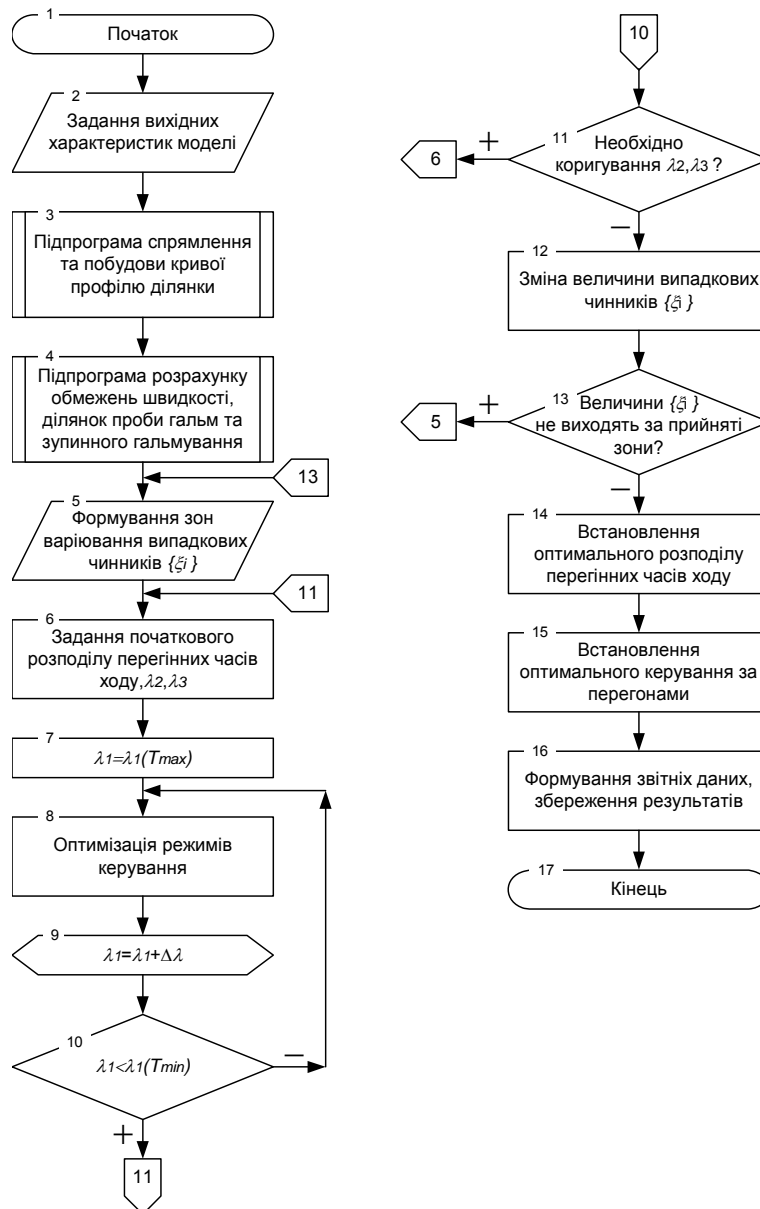


Рис. 1. Блок-схема алгоритму тягово-енергетичних розрахунків з оптимізацією керування поїздом

Результати роботи програми можна прослідкувати за рис. 2, на якому наведено графіки залежності основних фазових координат (швидкості, часу руху та позиції керування) від шляху на ділянці Родакове-Комунарськ (Донецька зал.). Вихідні режими, реалізовані під час дослідної поїздки, позначені на верхньому полі графіка лінією 1. Відповідно до них були отримані залежності швидкості та часу ходу від шляху, а також характеристики споживання електроенергії; розрахунок цих параметрів за ідеальною моделлю забезпечує коректність порівняння діючих режимів та результатів ТЕР. Оптимізовані режими та відповідні їм залежності швидкості та часу позначені кривими 2. З порівняння графіків видно, що раціональний режим, отриманий в результаті статистичного моделювання, має тенденцію до стабілізації керування при незначній зміні профілю під поїздом. Це позначається також на підтриманні швидкості руху більш рівномірною, за рахунок чого виконання розрахованого режиму може надати економію витрат електроенергії на тягу в межах 1,6...2,3 % залежно від збігу чинників зовнішнього середовища. Крім того, розрахований режим забезпечує виконання випробування гальм і витримку обмежень швидкості на ділянці, отже відповідає вимогам безпеки руху.

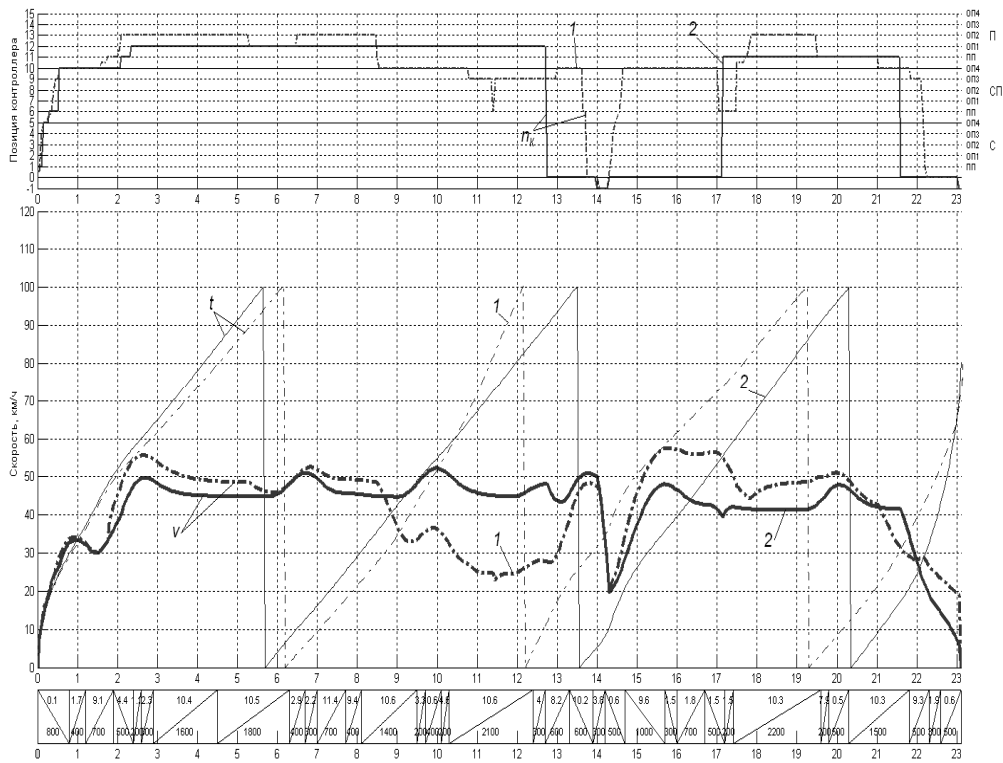


Рис. 2. Залежності основних фазових координат, отримані в результаті моделювання тягово-енергетичних розрахунків:

- 1 – режими керування за даними тягово-енергетичних випробувань;
 - 2 – результат оптимізації режимів керування
- v – швидкість, км/год; t – час руху, 10^{-1} хв;
 n_k – узагальнена позиція керування

Оскільки отримані режими керування на деяких ділянках шляху мають істотні відмінності від існуючих, їх впровадження може досягатися без дообладнання існуючих локомотивів системами підтримки прийняття рішень. Разом із тим, запропоновані алгоритми мають швидкодію, достатню для роботи таких систем, отже можуть бути покладені в основу перспективних систем автомашиністів.

Перевірка розрахованих раціональних режимів у ході тягово-енергетичних випробувань може підвищити дієвість їх впровадження шляхом коригування ідеальної моделі виходячи з місцевих експлуатаційних умов.

Висновки. Запропоновано вираз узагальненого критерію оптимальності керування поїздом з урахуванням мінімізації витрат енергії, кількості перемикачів контролера машиніста, перегріву тягових електричних машин і витримки графікового часу ходу. Запропоновано алгоритм ТЕР з використанням статистичного моделювання впливу випадкових експлуатаційних чинників на тягово-енергетичні показники руху поїзда. Викладені результати тестування програми ТЕР з оптимізацією режимів керування дозволяють зробити висновок про можливість та економічну доцільність їх впровадження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Л. А. Баранов, Я. М. Головичер, Е. В. Ерофеев, В. М. Максимов; Под ред. Л. А. Баранова. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
2. Блохин Е. П. Проблемы вождения поездов в условиях оптового рынка электроэнергии / Е. П. Блохин, А. Н. Пшинько, В. В. Скалзуб // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 6. – С.10–15.
3. Мугинштейн Л. А. Энергооптимальный тяговый расчет движения поездов / Л. А. Мугинштейн, С. А. Виноградов, И. Я. Ябло // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 2. – С. 24–29.
4. Игин В. Н. Сбережению электроэнергии – повышенное внимание! / В. Н. Игин // Локомотив. – 2011. – № 3. – С.4–5.
5. Калабухін Ю. Є. До питання визначення середньоексплуатаційної питомої витрати палива тепловозом на основі тягових розрахунків / Ю. Є. Калабухін, Д. О. Горбунова // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х.: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 123. – С. 184–195.
6. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
7. Матвієнко С. А. Визначення параметрів математичної моделі руху поїзда для виконання оптимізаційних розрахунків / С.А. Матвієнко // Зб. наук. пр. Дон. ін-т. залізнич. трансп. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 24. – С. 98–107.
8. Моисеев Н. Н. Численные методы в теории оптимальных систем – М.: Наука, 1971. – 424 с.
9. Костромин А. М. Оптимизация управления локомотивом – М.: Транспорт, 1979.–119 с.
10. Черняк Ю. В. Оптимизация режимных карт вождения поездов на основании выполнения графика движения / Ю. В. Черняк, С. А. Матвиенко // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х.: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 96. – С. 40–44.

УДК 629.463.12

*Виктор Осмак
Надежда Брайковская*

**К ОЦЕНКЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ КУЗОВА ВАГОНА
С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ**

Разработана процедура и физическая модель к оценке герметичности кузова вагона при теплотехнических испытаниях методом нагрева воздуха в грузовом помещении кузова вагона до получения стабильного перепада между температурами воздуха внутри и снаружи вагона в режиме теплопередачи близкому к стационарному.

Розроблена процедура і фізична модель до оцінки герметичності кузова вагона при теплотехнічних випробуваннях методом нагрівання повітря у вантажному приміщенні кузова вагона до отримання стабільного перепаду між температурами повітря усередині та зовні вагона в режимі теплопередачи близькому до стаціонарного.

The procedure and the physical model to estimate leakage car body under thermal testing by heating the air in the cargo area body of the wagon to get a stable difference in temperature between the air inside and outside the car in the mode of heat transfer is close to stationary.

Ключевые слова: кузов вагона, герметичность, теплотехнические испытания, тепловой баланс, фильтрация, физическая модель.

Абсолютная герметичность кузова вагона с теплоизоляцией практически невозможна. В реальных условиях, теплопередача через ограждение кузова вагона, сопровождается процессами неорганизованного воздухообмена, т.е. фильтрацией (инфильтрацией и эксфильтрацией). Препятствует воздухообмену с окружающей средой достаточно развитая по толщине и объему теплоизоляция. Применение способов заливки и напыления пенопластов, при формировании теплоизоляционного слоя в ограждениях кузова, значительно повысило герметичность вагона. При этом, возрастают требования к оценке герметичности (плотности) кузова вагона.

В настоящее время, определение показателя герметичности ограждения кузова вагона, проводится при проведении предварительных, приемочных, периодических (или аттестационных) и типовых теплотехнических испытаниях.

© Осмак В. Е. , Брайковская Н. С., 2011

Показатель герметичности определяют по величине расхода воздуха, при поддержании нормированного избыточного давления внутри грузового помещения вагона, на уровне 49 Па. Величину допустимого расхода воздуха через неплотности нормируют в зависимости от типа вагона. При теплотехнических испытаниях вагона также определяют средний коэффициент теплопередачи ограждения кузова [1, 2]. Экспериментальное определение среднего коэффициента теплопередачи ограждений кузова вагона производится методом нагрева воздуха в грузовом помещении кузова вагона, до получения стабильного перепада между температурами воздуха внутри и снаружи вагона, в режиме теплопередачи, близкому к стационарному, при этом тепловой баланс соответствует уравнению [3]:

$$W = Q_{ок} + Q_{ф}, \quad (1)$$

где W – мощность нагревательных элементов, Вт;

$Q_{ок}$ – тепловой поток через ограждение кузова под воздействием разности температур воздуха внутри и снаружи вагона, Вт.

$Q_{ф}$ – тепловой поток от фильтрации воздуха через неплотности, Вт.

Для определения показателя герметичности при теплотехнических испытаниях вагона методом нагрева воздуха в грузовом помещении кузова вагона, предлагается использовать следующую процедуру. По установившейся мощности нагревательных элементов, при полученном стабильном перепаде температур между температурами воздуха внутри и снаружи вагона и расчетному значению теплового потока через ограждение кузова вагона, с учетом истинного коэффициента теплопередачи, определяем тепловой поток от фильтрации воздуха.

Тепловой поток от фильтрации воздуха составляет [4]:

$$Q_{ф} = G_{ф} \cdot (h_{в} - h_{н}), \quad (2)$$

где $G_{ф}$ – расход воздуха при фильтрации, кг/с;

$h_{в}$, $h_{н}$ – удельная энтальпия воздуха соответственно внутри и снаружи вагона, Дж/кг.

Из уравнения (2), определяем значение расхода воздуха при фильтрации, что является основанием для оценки показателя герметичности кузова вагона.

Для оценки описанной методики разработана физическая модель кузова крытого вагона.

Создание физической модели - это один из методов экспериментального изучения физического процесса, в данном случае фильтрации воздуха через неплотности ограждения кузова крытого вагона [5, 6].

Воспроизведение исследуемого физического процесса, в целях эксперимента, в реальных масштабах - дорогостоящее и энергоемкое.

При математическом моделировании процесс описывается сложной системой уравнений.

Физическое моделирование основано на физическом подобии процессов, которые протекают при теплотехнических испытаниях в реальном кузове крытого вагона и масштабированной модели.

Надежные результаты получаются лишь в случае соблюдения физического подобия процесса фильтрации воздуха из кузова крытого вагона. Критерием подобия для модели и реального кузова вагона являются физические величины

теплового балансу і расхода воздуха при фильтрации, которые сохраняют свои физические параметры на модели. Равенство одностипных критериев и параметров - необходимое и достаточное условие физического подобия. Таким образом, физическая модель является уменьшенной в масштабе кузовом вагона и проведение экспериментов на этой модели с последующим получением выводов, результатов, закономерностей распространяется на реальный процесс фильтрации воздуха кузова крытого вагона.

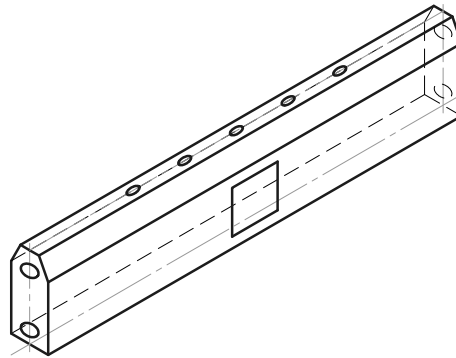


Рис. 1. Общий вид физической модели исследования герметичности кузова крытого вагона

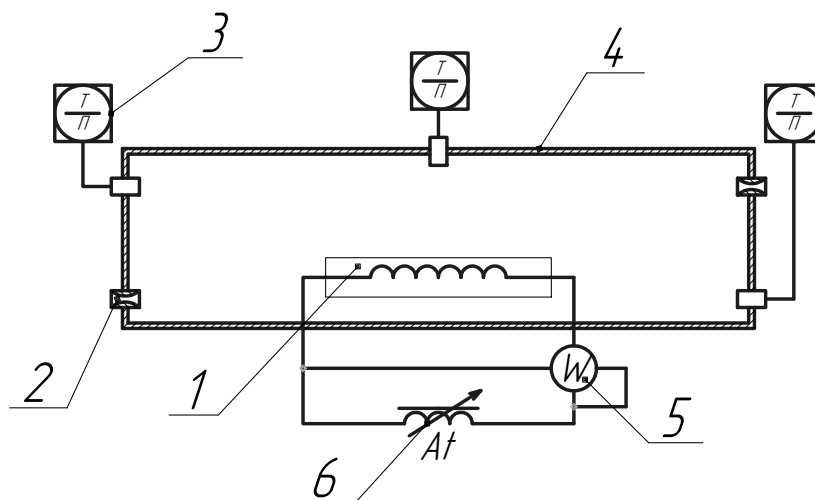


Рис. 2. Схема физической модели крытого вагона при проведении теплотехнических испытаний:

1 – электронагреватель, 2 – дроссель, 3 – термометр, 4 – ограждающая конструкция, 5 – ваттметр, 6 – автотрансформатор.

Выполнена модель из листовой стали толщиной 3 мм и копирует кузов крытого вагона. Основание сформировано из одного гнутого листа П-образной формы, из которого получается пол и боковые стены, отдельными элементами выполнены торцевые стены и крыша. Соединение всех элементов выполнено сваркой по

теплового балансу і расхода воздуха при фильтрации, которые сохраняют свои физические параметры на модели. Равенство одностипных критериев и параметров - необходимое и достаточное условие физического подобия. Таким образом, физическая модель является уменьшенной в масштабе кузовом вагона и проведение экспериментов на этой модели с последующим получением выводов, результатов, закономерностей распространяется на реальный процесс фильтрации воздуха кузова крытого вагона.

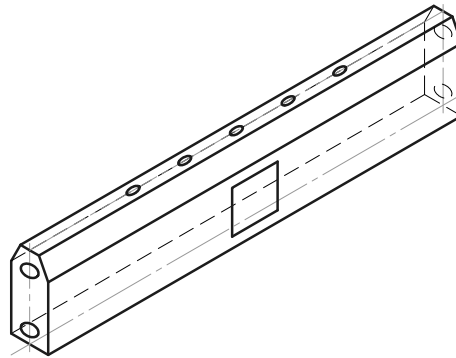


Рис. 1. Общий вид физической модель исследования герметичности кузова крытого вагона

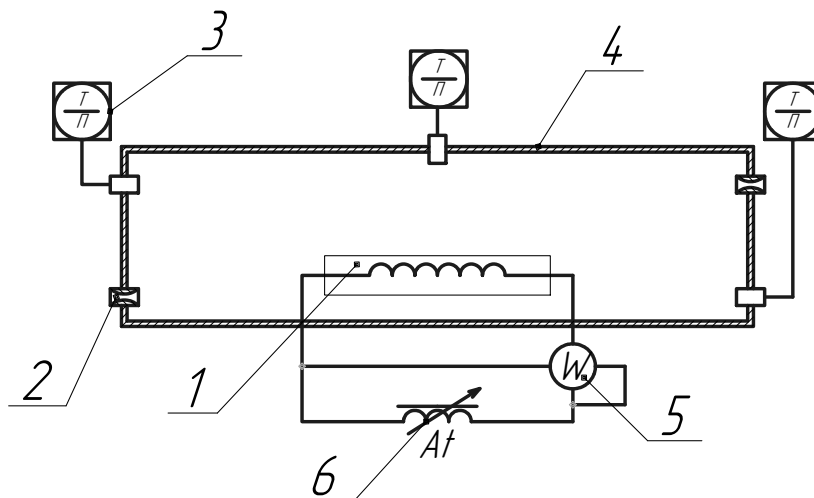


Рис. 2. Схема физической модели крытого вагона при проведении теплотехнических испытаний:

1 – электронагреватель, 2 – дроссель, 3 – термометр, 4 – ограждающая конструкция, 5 – ваттметр, 6 – автотрансформатор.

Выполнена модель из листовой стали толщиной 3 мм и копирует кузов крытого вагона. Основание сформировано из одного гнутого листа П-образной формы, из которого получается пол и боковые стены, отдельными элементами выполнены торцевые стены и крыша. Соединение всех элементов выполнено сваркой по

периметру всех деталей таким образом, что получилась единая сварная конструкция. На одной из боковых стен вырезан дверной проем и закрыт крышкой, которая крепится болтами по периметру. Этот проем предназначен для монтажа и осмотра внутренней полости модели. Внутри располагаются два трубчатых электрических нагревателя (тэн), установленных на фарфоровых изоляторах. Соединение тэнов выполнено последовательно. Мощность одного тэна 0,98 кВт, напряжение 220В, длина трубки тэна 1 м, диаметр трубки 12 мм. Тэны предназначены для нагревания воздуха внутри модели. Также одним из важных конструктивных элементов на модели являются втулки, выполненные наружным диаметром 32мм высотой 35мм с внутренней дюймовой резьбой $\frac{3}{4}$ ". Выбор дюймовой резьбы обусловлен универсальностью крепления различного оборудования.

Вдоль продольной оси располагаются девять втулок для крепления измерительных приборов и пробок с установленной площадью эквивалентного отверстия, которые моделируют каналы фильтрации в ограждении кузова вагона. Проведение исследований на масштабированной физической модели и основные положения разработанной методики позволят экспериментально оценить показатель герметичности при теплотехнических испытаниях вагона методом нагрева воздуха в грузовом помещении.

Выводы

1. Разработанная процедура предусматривает определение показателя герметичности при теплотехнических испытаниях методом нагрева воздуха в грузовом помещении кузова вагона до получения стабильного перепада между температурами воздуха внутри и снаружи вагона в режиме теплопередачи.

2. Разработана физическая модель кузова крытого вагона обеспечивает подобии процессов, которые протекают при теплотехнических испытаниях в реальном кузове крытого вагона, .

3. Экспериментальное воспроизведение исследуемого физического процесса, с использованием физической модели, описываемое математической моделью на основании уравнения теплового баланса при теплотехническом испытании кузова вагона не является дорогостоящими.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ищенко В. Н., Осмак В. Е., Обуховский В. В.* Оценка теплозащитных качеств кузова крытого вагона с теплоизоляцией / Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – 2010. – Вип. 23. – С. 176-182.

2. ОСТ 24.050.65-86 Вагоны рефрижераторные. Методика проведения теплотехнических испытаний УДК629.463.125.001.4.Группа Д59.

3. *Барташ Е. Т.* Энергетика изотермического подвижного состава. – М.: Транспорт, 1976. – 304с.

4. *Левенталь Л. Я., Лысенко Н. Е., Сучков Д. И., Хенаг А.* Энергетика и технология хладотранспорта: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / Под редакций Л.Я. Левенталя. – М.: Транспорт, 1993. – 228с.

5. *Седов Л. И.* Методы подобия и размерности в механике, М., 1972

6. *Кирпичев М. В., Михеев М. А.* Моделирование тепловых устройств. – М.-Л., 1936.

УДК 625.12

Ольга Сорока

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА.
ЇХ ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ**

Стаття розкриває поняття діагностики земляного полотна та його споруд. Звертається увага на необхідність діагностики, перш за все, для забезпечення безпеки руху та прогнозування роботи даного елемента конструкції колії. Коротко описані існуючі методи діагностики та приведені їх переваги і недоліки. Як висновки – рекомендації щодо введення на українських залізницях більш сучасних методів діагностики земляного полотна.

Статья раскрывает понятие диагностики земляного полотна и его сооружений. Уделяется внимание необходимости диагностики, прежде всего, для обеспечения безопасности движения и прогнозирования работы данного элемента конструкции пути. Кратко описаны существующие методы диагностики и приведены их преимущества и недостатки. В качестве выводов – рекомендации относительно введения на украинских железных дорогах более современных методов диагностики земляного полотна.

The article exposes the concept diagnostics of earthen linen and his buildings. Attention applies on the necessity of diagnostics, foremost, to providing safety of motion and prognostication of work of this element of construction of track. shortly described the existent methods of diagnostics and their advantages and failings. In quality conclusions – recommendation for relation to introduction on the Ukrainian railways more modern methods diagnostics of earthen linen.

Ключові слова: земляне полотно, деформації земляного полотна, огляди земляного полотна, геофізичні методи, метод електрометрії, сейсмічний метод, метод радіолокації.

Земляне полотно та споруди є важливим елементом конструкції залізничної колії і потребують належного утримання і своєчасного виявлення дефектів та деформацій. Згідно з «Правилами технічної експлуатації залізниць» земляне полотно та його споруди повинні забезпечувати безпеку руху поїздів із заданими навантаженнями й швидкостями руху при встановленій вантажонапруженості, а також повинні відповідати нормативам міцності та стійкості протягом всього періоду служби [6].

Саме тому всі дефекти, деформації та пошкодження земляного полотна та його споруд мають бути вчасно виявлені шляхом діагностики і усунені в процесі

© Сорока О. О., 2011

поточного утримання колії, при планово-запобіжних ремонтах верхньої будови колії, а також при ремонтах і підсиленні земляного полотна за індивідуальними проектами.

Діагностика земляного полотна – це комплексна система оцінки, що складається з сукупності взаємопов'язаних елементів, таких як: визначення фактичного стану земляного полотна, якісна і кількісна оцінка змін, що відбуваються в ньому під впливом динамічних поїзних навантажень і вплив природно-кліматичних чинників, а також періодичний контроль земляного полотна в процесі експлуатації залізничної колії. Система діагностики колії і споруд має бути спрямована на вирішення основного цільового завдання поточного утримання і ремонту: всі елементи залізничної колії (земляне полотно, верхня будова колії і штучні споруди) по міцності, стійкості і стану повинні забезпечувати безпечний і плавний рух поїздів зі встановленими швидкостями.

Основними завданнями моніторингу земляного полотна є: своєчасне виявлення деформацій, що зароджуються, і контроль вже існуючих для підвищення рівня безпеки руху поїздів, зниження експлуатаційних витрат і обґрунтованого вкладення коштів на реконструкцію, ремонт і підсилення земляного полотна; прогнозування стану земляного полотна і його захисних споруд для попередження раптових деформацій або зниження негативних економічних і соціальних наслідків від їх виникнення.

Враховуючи збільшення вантажонапруженості в зв'язку з проведенням ЄВРО-2012 і відповідно можливе зростання витрат на ліквідацію раптових порушень стабільності земляного полотна і його споруд, важливість своєчасного виявлення зародкових деформацій, попередження розвитку вже існуючих, а також необхідність прогнозування можливих наслідків впливу техногенних і природних факторів необхідне створення концепції моніторингу земляного полотна, що буде спрямована на вирішення практичних та техніко-економічних завдань.

До системи діагностики земляного полотна входять: об'єкти дослідження; методи і технічні засоби діагностування; класифікація діагностичних ознак (критеріїв розпізнавання деформацій); спеціально підготовлений персонал, що взаємодіє з об'єктом діагностування за правилами, встановленими відповідною нормативно-методичною документацією; висновок про технічний стан об'єкта з обґрунтуванням можливості подальшої його експлуатації або пропозиції щодо вжиття термінових заходів з його посилення. З позиції діагностики земляне полотно, що експлуатується, поділяється на такі категорії: I категорія – аварійне земляне полотно, тобто є ділянки, де сталися значні деформації і зупинений рух поїздів (наприклад, змиви укосів, руйнування насипів, карстові провали). В такому разі потрібне негайне відновлення земляного полотна і одночасне оперативне обстеження не лише зруйнованої ділянки, але і суміжних з ним ділянок земляного полотна; II категорія – ділянки з виявленими деформаціями земляного полотна, на яких діють попередження про обмеження швидкостей руху поїздів; III категорія – ділянки земляного полотна, розміщені в складних інженерно-геологічних умовах, які вимагають підвищеної уваги через можливість появи на них деформацій (райони поширення карсту, боліт, зсувів, вічної мерзлоти); IV категорія – високі насипи з глинистих ґрунтів, які, як правило, потенційно ненадійні; V категорія – стабільне земляне полотно, але його стан необхідно оцінювати при призначенні термінів ремонту колії. Залежно від категорії стану земляного полотна і експлуатаційних умов діагностичні дослідження розділяються на детальні,

рекогносцирувальні (попередні) і режимні. Детальна діагностика проводиться на об'єктах земляного полотна із вже виявленими або з явними ознаками прояву деформацій (I, II, III категорії) і має на меті отримання початкових даних для розробки заходів щодо посилення земляного полотна. Рекогносцирувальна діагностика виконується з метою попередньої оцінки стану об'єкта і визначення необхідності його подальшого детального обстеження (III, IV і V категорії). Режимна діагностика об'єкта (моніторинг його технічного стану) проводиться періодично в процесі експлуатації колії для виявлення аномальних і сумнівних за станом ділянок (надалі вони детально обстежуються) та визначення термінів і черговості виконання ремонтних робіт. Вони застосовуються для усіх категорій земляного полотна, але передусім для IV і V категорій.

Деформації земляного полотна призводять до суттєвих матеріальних втрат на відновлювальні роботи і втрат від перерв у русі поїздів, до збільшення втрат на утримання колії, знижують рівень безпеки руху. Відповідно до Інструкції з утримання земляного полотна залізниць України за земляним полотном і його спорудами повинен бути організований нагляд, що містить:

- систематичний нагляд;
- поточні огляди;
- періодичні огляди;
- спеціальні обстеження і спостереження.

При систематичному огляді працівники, що його проводять, зобов'язані слідкувати за справним станом земляного полотна, водовідвідних, захисних та укріплювальних споруд, виявляти усі дефекти, деформації та пошкодження, своєчасно організовуючи виконання необхідних робіт підтримання земляного полотна та його споруд у справному стані.

При поточних оглядах виявляють всі несправності і виділяють дефекти, що потребують негайного усунення (тріщини й розмиви на узбіччях та укусах земляного полотна), визначають обсяги необхідних ремонтних робіт, проводять контроль за виконанням систематичного нагляду і утримання земляного полотна та його споруд, а також інструктаж працівників, що здійснюють цей нагляд. До поточного огляду належить також спостереження за роботою дренажних споруд і особливостями пропускання зливових і паводкових вод.

Під час періодичного огляду проводять детальну перевірку загального стану земляного полотна, водовідвідних, захисних та укріплювальних споруд з виконанням, у разі необхідності, інструментальних та інших вимірювань. При цьому виявляють дефекти, встановлюють причини несправностей, складають перелік необхідних профілактичних та ремонтних робіт, перевіряють повноту та якість раніше виконаних робіт систематичного нагляду, дають вказівки щодо порядку подальшого нагляду та спостережень.

Спеціальні обстеження й спостереження за земляним полотном та його спорудами здійснюються інженерно-геологічними базами та колієобстежувальними станціями по земляному полотну. В разі необхідності для проведення спеціальних спостережень можуть залучатися науково-дослідні, проектні та інші організації, оснащені необхідними технічними засобами діагностики [1].

В даний час крім візуального існує велика кількість методів діагностики земляного полотна. Вони передбачають застосування різноманітних засобів. Геофізичні методи складають основу сучасної системи діагностики земляного

полотна, базуються на вивченні закономірностей зміни різних фізичних полів в ґрунтах земляного полотна залежно від їх складу, властивостей і стану. До них належать: інженерно-геологічне буріння, динамічне зондування, нівелювання, лабораторне фізичне моделювання, лабораторні і польові випробування ґрунтів, оцінка деформативності підрейкової основи по пружних осадках колії під навантажувальним поїздом, спеціальна обробка стрічок вагонів колієвимірників, сейсмічний, вібросейсмічний, електромагнітний і радіолокаційний методи, аерофотозйомка, космозйомка, наземне і авіаційне лазерне сканування. Нижче наведена стисла характеристика даних методів.

Фізичні поля в земляному полотні можуть виникати від спрямованих дій постійного або змінного електричного струму через забиті в ґрунт електроди (метод електрометрії); від дії ударних навантажень (наприклад, молотом) по ґрунту (сейсмічний метод); від поїзда, що рухається (вібраційний метод); від випромінювання електромагнітних високочастотних зондуючих сигналів (метод радіолокації). Принципова схема застосування геофізичних методів полягає в такому: збудження фізичних полів в земляному полотні – прийом і перетворення сигналів (відгук системи) у відповідь – реєстрація сигналів вимірною апаратурою – автоматизована система обробки отриманої інформації – інтерпретація і інженерно-геологічне пояснення результатів діагностики. Нижче наведена стисла характеристика геофізичних методів, які застосовуються при діагностиці земляного полотна.

Метод електрометрії дозволяє виявляти деформації основної площадки у вигляді баластних заглиблень і зволжених зон ґрунту; визначати карстові порожнини; оцінювати величину просадки насипу на болотах; визначати межі мерзлих ґрунтів в тілі і основі насипів, а також вирішувати низку інших завдань. Розроблена також модифікація методу електрометрії – електродинамічне зондування (ЕДЗ). Суть ЕДЗ полягає в тому, що в масив ґрунту на глибину, яка досліджується, ударами еталонного вантажу забивається металевий зонд, що складається з декількох сполучених між собою труб. По мірі занурення зонду в земляне полотно через певні інтервали по глибині вимірюється пропущена сила струму через електроди, що знаходяться на кінці зонду. Метод ЕДЗ дозволяє отримувати не лише літологічний розріз земляного полотна, але і дані міцнісних характеристик піщано-глинистих ґрунтів до глибини близько 5-7 м.

Сейсмічний метод дозволяє зондувати земляне полотно вздовж колії і на укосах насипу і вирішувати переважну більшість завдань, які зустрічаються при усіх видах діагностичних досліджень земляного полотна. Серед них детальні дослідження внутрішньої будови земляного полотна, визначення водонасичених зон в насипах і рівня ґрунтових вод в їх основі; оцінка показників властивостей ґрунту і визначення ослаблених по міцності зон в насипах та їх основі; обстеження земляного полотна, що експлуатується, в складних інженерно-геологічних умовах.

Вібраційний метод розроблений для перетворення вхідної динамічної дії, що змінюється в часі, і відгуку системи на цю дію (наприклад, коливальні процеси). Істотною перевагою такого методу є можливість оцінювати динамічний стан насипу під час її функціонування, тобто в процесі дії рухомого складу. Вібраційний метод застосовується при попередній діагностиці насипів з виділенням аномальних об'єктів; при моніторингу стану насипів в процесі експлуатації залізниці протягом року з метою прогнозування їх стану, в тому числі при організації швидкісного

руху пасажирських поїздів; для виявлення насипів, на яких можливі аварійні деформації від дії рухомого складу.

Метод радіолокації базується на випромінюванні радіопередавачем коротких електромагнітних сигналів, що проникають в ґрунт через антену. Відбиваючись від шарів ґрунту, що мають різні електромагнітні властивості, сигнали з інформацією про стан середовища уловлюються антеною. Таким чином визначається неоднорідність ґрунтів у тілі земляного полотна. Метод радіолокації характеризується великою розподільною здатністю, технологічністю і високими техніко-економічними показниками. Це пояснюється можливістю безперервних безконтактних вимірювань з використанням транспортного засобу. Для обстеження порівняно невеликих за протяжністю ділянок використовується комплекс радіолокації «Геодефектоскоп», що переміщається по рейковій колії, створений на базі георадара (транспортного засобу типу дефектоскопного візка) та іншого допоміжного устаткування. Вимірювальний комплекс «Геодефектоскоп» призначений для оцінки стану верхньої частини земляного полотна на глибинах 1,5-2 м з прив'язкою до конкретних пікетів. Завдання, що вирішуються: виявлення баластних заглиблень в основній площадці, визначення меж промерзання і відтаювання ґрунту, виділення ділянок з баластними виплесками та ін. Вимірювання виконуються безперервно по довжині колії зі швидкістю пересування оператора 3-4 км/год.

Не дивлячись на вагомі переваги, технології використання цих засобів не відпрацьовані достатньою мірою. Це викликано, перш за все, складністю оцінки фактичного стану земляного полотна через велику кількість чинних на нього факторів, що впливають на його стабільну роботу (в тому числі прихованих, активних лише в період несприятливих природно-кліматичних явищ).

Відсутні також чіткість в нормативно-технічних документах, що регламентують критерії оцінки стану земляного полотна, а також вивірені концептуальні підходи до його діагностики.

До основних недоліків існуючих технологій оцінки і прогнозування стану земляного полотна належать:

- суб'єктивність і недостовірність діючої системи візуальних методів нагляду;
- значна трудомісткість, низька продуктивність і велика вартість інженерно-геологічних методів вибіркового обстежень;
- відсутність достовірної інформаційної бази даних про стан об'єктів;
- відсутність чітких нормативних вимог до конструкції земляного полотна, ув'язаних з експлуатаційними умовами;
- недостатнє використання сучасних методів прогнозування природних процесів, особливо в районах зі складними природно-кліматичними інженерно-геологічними і геоландшафтними умовами, з метою запобігання неочікуваних, катастрофічних руйнувань і деформацій;
- недооснащеність інженерно-геологічних баз залізниць сучасними засобами діагностування та недоукомплектованість їх кадрами;
- недосконалість програмних засобів обробки та інтерпретації результатів діагностики технічними засобами, що є наслідком маловивченості складних гідрологічних і геодинамічних процесів в земляному полотні і його основі та відсутності в зв'язку з цим чітких розпізнавальних ознак деформацій і критеріїв відповідності їх нормам, що вимагає залучення широкого кола спеціалістів;

– недостатність координації наукових досліджень і експертизи рішень впровадження в області діагностики, що приводить в деяких випадках до невиправданих витрат на обстеження без реального результату [2].

Висновки. Проаналізувавши відомі методи діагностики земляного полотна, можна зробити такі висновки: на даний момент на українських залізницях проведенню діагностики земполотна приділяється недостатня увага. Найпоширенішими методами є огляди, що не завжди ефективно і надійно. В зв'язку із введенням на українських залізницях швидкісного руху потрібно більш відповідально відноситися до діагностики залізничної колії в цілому і до діагностики земляного полотна зокрема. Необхідно вивчити більш детально існуючі сучасні зарубіжні методи діагностики і шляхи їх впровадження на українських залізницях, а також визначити економічний ефект від їх впровадження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція з утримання земляного полотна залізниць України/Л. І. Дяченко. Г. П. Кислий, В. О. Курач. – Д.: Вид-во АТЗТ ВКФ «Арт-Прес», 2001. – 104 с.
2. Яковлева Е .В. Прогнозировать деформации земляного полотна/ Путь и путевое хозяйство. – № 6, 2005. – С. 29-32.
3. Даніленко Е. І. Залізнична колія/Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомих складом/Підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х томах). – Київ: Інпрес, 2010.
4. Усовершенствование метода диагностирования и критериев состояния земляного полотна железных дорог/Р 761/3 Памятка ОСЖД от 30 октября 2003 г., г. Варна.
5. Концепция разработки комплексной системы диагностики технического состояния элементов железнодорожной инфраструктуры/О 733 Памятка ОСЖД от 27 апреля 2007 г., г. Тбилиси, Грузия.
6. Правила технічної експлуатації залізниць України. – К.: «Видавничий дім «Сам», 2003. – 133 с.

УДК 629

Іван Сущенко

МОДЕРНІЗАЦІЯ КАБІНИ МАШИНІСТА ЕЛЕКТРОВОЗІВ ВЛ11М

У статті викладені технічні і конструктивні рішення виконаної модернізації електровозу ВЛ 11м № 056, який не вичерпав свого терміну експлуатації.

В статье изложены технические и конструктивные решения выполненной модернизации электровоза ВЛ11м № 056, который не исчерпал срока эксплуатации.

In this article set out the technical and design solutions completed the modernization of electric locomotive model 11m number 056, which failed to exhaust lifetime.

Ключові слова: модернізація, поліпшення, ергономіка, підвищення надійності, безпека руху, кабіна машиніста, електронний контролер, перетворювач.

Постановка задачі та її актуальність. Електровоз ВЛ11м був випущений Тбіліським електровозобудівним заводом за проектом Спеціального проектно-конструкторського бюро науково-виробничого об'єднання «Електровозобудівник» у 1986 р., серійний випуск електровоза розпочатий з 1987 р. [1]. Електровоз ВЛ11м вважають однією з «наймолодших» та найперспективніших моделей з-поміж діючого на теренах України рухомого складу через простоту конструкції та невибагливість в експлуатації. Проте з розвитком науково-технічного прогресу і сучасних вимог до умов роботи локомотивних бригад відповідна модернізація електровозів цієї серії є вкрай необхідним та першочерговим завданням.

Аналіз останніх досліджень. Враховано досвід виконаних робіт з модернізації кабіни електровозів ВЛ і ЧС підприємствами РЖД Російської Федерації [4], а також конструктивні рішення сучасної серії електровоза ВЛ11м/6 Тбіліського електровозобудівельного заводу (АО «Электровозостроитель») [6], [7].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Відсутність необхідного вітчизняного обладнання для забезпечення відповідних умов праці локомотивних бригад.

Викладення основного матеріалу. В ІV кварталі 2011 року на базі ПрАТ «Львівський локомотиворемонтний завод» з залученням підрядних організацій:

© Сущенко І. П., 2011

ТзОВ «ПКВП МДС» м. Дніпропетровськ, НВП «Квант – Транспорт» м. Київ, НВП «Хартрон – Експрес ЛТД» м. Харків, ТзОВ «Трансконтур» м. Хмельницький, ВАТ «Запорізький завод-перетворювач» проведено модернізацію кабіни електровоза ВЛ11м №056 з подальшим впровадженням модернізацій на всіх електровозах цієї серії. Загальний вигляд інтер'єра кабіни зображено на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд інтер'єра кабіни електровоза ВЛ11м

Модернізація кабіни передбачає покращення умов праці локомотивної бригади за рахунок конструктивних рішень переобладнання існуючої кабіни до сучасних вимог стандартів, а саме:

- поліпшення інтер'єру внутрішньої обшивки кабіни із застосуванням сучасних звукопоглинаючих пристроїв і теплоізолюючих, нетоксичних і пожежостійких матеріалів, які відповідають вимогам ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения», ГОСТ 12.1.004-85 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования безопасности»;

- створення мікроклімату в кабіні за рахунок встановлення системи кондиціонування з підігрівом свіжого повітря, при цьому встановлюється кондиціонер, що забезпечує охолодження повітря в літній час і його підігрів в зимовий;

- вилучення електричних кіл напругою 3000 В для живлення приладів (електропечей) обігріву кабіни, що забезпечує безпеку роботи локомотивної бригади;

– встановлення в кабіні приладів обігріву з живленням їх напругою 220 В промислової частоти із забезпеченням нормативного часу запуску електровоза в експлуатацію після відстою в зимовий період;

– встановлення багатошарових лобових і бокових вікон з електропідігрівом, які відповідають вимогам ГОСТ 5727-88 «Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия», електромеханічних склоочисників з системою обмивки лобових вікон від бруду, нових блоків бокових вікон кабіни з покращеною системою герметизації, сучасних дзеркал зворотнього огляду з підігрівом та дистанційним керуванням їх положення, сонцезахисних екранів лобових та бокових вікон, сучасних світильників освітлення кабіни, входних пожежостійких дверей і шумозахисних дверей в кабіну, сучасних сертифікованих крісел машиніста та помічника машиніста, нового ергономічного пульта машиніста, мікрохвильової пічки для підігріву продуктів харчування та холодильника для зберігання продуктів [5].

Всі проведені роботи по модернізації інтер'єру кабіни машиніста відповідають вимогам ДСТУ 3944-2000 «Дизайн і ергономіка. Правила виконання дизайн-ергономічних робіт під час розроблення та постачання продукції на виробництво» та іншим нормативним документам з охорони праці та пожежної безпеки.

Для підвищення надійності системи управління безпеки руху при виконанні поїзної та маневрової роботи поїзда відповідно до колійних сигналів АЛСН та вимог «Інструкції з сигналізації на залізницях України», встановлено сертифіковані системи локомотивної сигналізації типу АЛС - МУ та системи радіозв'язку типу РЛ-2С, які призначені для:

- приймання сигналів від колійних пристроїв АЛСН та їх відображення машиністу;
- контролю і відображення машиністу швидкості руху;
- виключення несанкціонованого початку руху локомотива;
- контролю гальмування перед світлофором із заборонним сигналом;
- контролю пильності і бадьорості машиніста [2].

Для підвищення надійності системи керування тяговими і гальмівними режимами управління електровоза встановлено сертифіковані системи керування рекуперативним гальмуванням «БАРС» замість застарілої системи САУРТ, електронні системи протиюзового і протибуксиривального захисту взамін традиційних датчиків буксування, сертифікованого електронного контролера машиніста типу АКАШ [3], основні технічні характеристики виробу зазначені у табл. 1.

Таблиця 1

Основні технічні характеристики контролера машиніста типу АКАШ

Кількість дискретних сигналів керування, шт.	54
Кількість аналогових каналів керування, шт.	1
Напруга на виході аналогового каналу, В	0-30
Напруга живлення (постійний струм). В	50
Споживча потужність в колі 50 В (не більше), Вт	50
Напрацювання на відмову не менше, год.	6500
Час підготовки виробу до роботи, с	1

Для підвищення надійності електричного живлення електрообладнання управління електровозом встановлено трьохканальний статичний перетворювач напруги типу ПП-ПО2ППТ-70/80/24-230/50/24 загальною потужністю 17 кВт для живлення кіл кондиціонера, калориферів, електричних печей, контролера машиніста, електромеханічних склоочисників, дзеркал зворотнього огляду, обігріву вікон, холодильника, мікрохвильової печі. Перетворювач повинен відповідати вимогам ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды», ГОСТ 14254-96 «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP)», ГОСТ 17516.1 – 2001 «Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам». Основні технічні вимоги перетворювача напруги типу ПП-ПО2ППТ-70/80/24-230/50/24 зазначені у табл. 2

Таблиця 2

Основні технічні вимоги перетворювача напруги типу ПП-ПО2ППТ-70/80/24-230/50/24

Вимоги по призначенню	
Номінальна вхідна напруга, В	3000
Мінімальна вхідна напруга, В	2200
Максимальна вхідна напруга, В	4000
Вихідні параметри	
Перший канал	
Номінальна вихідна напруга, В	230
Номінальний вихідний струм, А	70
Номінальна частота, Гц	50
Коефіцієнт викривлення синусоїдальності кривої напруги, % не більше	10
Другий канал	
Номінальна вихідна напруга постійного струму, В	50
Номінальний вихідний струм, А	60
Коефіцієнт викривлення синусоїдальності кривої напруги, % не більше	1
Третій канал	
Номінальна вихідна напруга постійного струму, В	24
Номінальний вихідний струм, А	25
Коефіцієнт викривлення синусоїдальності кривої напруги, % не більше	1
Відхилення вихідних напруг всіх каналів від номінального значення при зміні вхідної напруги від 2200 до 4000 В не повинно перевищувати +/-	10%
Живлення кіл керування перетворювача повинно відбуватись від акумуляторної батареї напругою, В	(40-64)

Висновки. В даній статті викладений початковий етап модернізації електровозів ВЛ 11м, який забезпечує покращення умов праці локомотивних бригад, а також безпеку руху. По результатам експлуатаційних випробувань електровоза ВЛ11м № 056 є доцільним поглиблювати технічний рівень модернізації в частині підвищення потужності, зменшення енергоспоживання і експлуатаційних витрат на термін життєвого циклу експлуатації.

Презентація модернізованої кабіни машиніста електровоза ВЛ 11м відбудеться під час святкувань 150-річчя Львівської залізниці, а також «Львівського локомотиворемонтного заводу», який також буде святкувати своє стор'ятидесятиліття.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Тихонычевой В. К.* Электровоз ВЛ11м. Руководство по эксплуатации. – М.:Транспорт, 1994 – 416 с.
2. Технічне завдання на розробку автоматичної локомотивної сигналізації магістральних локомотивів АЛС-МУ для електровозів серії ВЛ 11М. РАСТ1.400.002-27 ТЗ.
3. Контроллер ВЛ 11м. Инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обработка изделия. АКАШ.468323.002 ИМ
4. Разработка эскизного проекта модернизации кабины машиниста электровоза ВЛ11м. Техническое задание. 1538.001 ТЗ.
5. Технічні вимоги на модернізацію кабіни електровоза постійного струму ВЛ 11м.
6. ВЛ 11м/6. Техническое описание и руководство по эксплуатации.
7. <http://www.tevz.ru/ru/service/modernization>

УДК 625.23.62

Василь Тарасюк

ПРОСОЧУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

У статті аналізуються фізико-хімічні властивості просочувальних лаків та полімерних компаундів, які використовуються для просочення обмоток електричних машин, а також технологічність їх використання при серійному впровадженні у виробництво.

В статье анализируются физико-химические свойства пропиточных лаков и полимерных компаундов, которые используются для пропитки обмоток электрических машин, а также технологичность их использования при серийном внедрении в производство.

The article examines the physical and chemical properties of impregnating varnishes and polymer compounds used for impregnation of windings of electrical machines and their use in technological implementation in serial production.

Ключові слова: просочувальні матеріали, полімери низької молекулярної маси, в'язкість, термообробка просочених обмоток.

У процесі ремонту або виготовлення обмоток тягових електричних машин рухомого складу, технологічний цикл просочення є найважливішим при формуванні якісної і надійної ізоляції. Просочення обмоток необхідне для заповнення пор та пустот усіх шарів ізоляції, щоб у кінцевому результаті отримати монолітну структуру навколо провідників. Неправильний вибір матеріалу або технологічних режимів просочення і термообробки обмоток, може призвести до того, що ізоляція матиме низьку якість з нетривалим ресурсом експлуатації.

Вибір просочувального матеріалу виконують виходячи з функціонального призначення та конструктивних особливостей обмоток, системи ізоляції, середовища експлуатації тягових електричних машин, і технологічності застосування матеріалу у виробництві. Адже окрім необхідних фізико-хімічних властивостей, просочувальний матеріал має бути простим у використанні та економічно доцільним.

Існують два види просочувальних матеріалів: лаки та компаунди. Просочувальний лак складається з твердої основи (термореактивної смоли) і органічних розчинників (зазвичай ксилол). У минулому у виробництві перевага надавалась просочувальним лакам. Для повного заповнення пор і пустот ізоляції твердою основою просочувального лаку необхідно декілька просочень з проміжним сушінням: з кожним наступним просоченням ступінь заповнення пор і пустот термореактивною смолою зростає.

© Тарасюк В. М., 2011

Перші компаунди – це виготовлені за спеціальною технологією сплави бітумів (продукти нафтопереробки), обезводненого льняного масла та канифолі. Такий склад матеріалу є термопластичним, тобто при нагріванні обмоток у процесі роботи ізоляція переходить у пластичний стан (тече). Тому, наприклад, якірні обмотки, що працюють під дією великих центробіжних сил, компаундувати цим матеріалом не можна. Попри тривалий і трудомісткий процес просочення в лаку, він залишався основним для якірних обмоток, так як його термореактивна основа (смола) при нагріванні незворотно твердне. Компаундування в основному проводилось для обмоток полюсних котушок, але не досить широко через те, що бітумні компаунди мають високу в'язкість і для їх використання потрібні спеціальні установки.

У наш час активно розвиваються технології виготовлення компаундів, основою яких є рідкі реакційно здатні полімери низької молекулярної маси (олігомери). До складу таких компаундів додають спеціальні реагенти (затверджувачі, ініціатори) за допомогою яких під дією тепла або ультрафіолетового світла просочувальний матеріал незворотно переходить у твердий стан. Висока цементуюча здатність олігомерів дає змогу використовувати їх для просочення всіх обмоток електричної машини.

У табл.1 і табл.2 наведені основні фізико-хімічні властивості просочувальних лаків і компаундів відповідно до вимог нормативної документації.

Таблиця 1. Фізико-хімічні властивості просочувальних лаків

Найменування показників	Од. вим.	ФЛ-98	КО-916	ПЕ-993ЕП
Клас нагрівостійкості	–	В	Н	Ф
Масова доля летких речовин	%	50-54	67±2	55-65
В'язкість за ВЗ 246 при 20°C	с	35-60	45-65	40-110
Час висихання лакової плівки до ступеня 3, не більше, за температури	хв.	120/120°C	15/180°C	120/140°C
Час просихання в товстому шарі, не більше, за температури	год.	16/120°C	–	6/140°C
Електрична міцність плівки не менше, за температури (15–35) °C	МВ/м	75	70	80

Таблиця 2. Фізико-хімічні властивості компаундів

Найменування показників	Од. вим.	КП-34	КП-105	Елпласт-155 ИД (А)
Клас нагрівостійкості	–	Ф	Ф	Ф
В'язкість за ВЗ 246 при 20°C	с	50-110	50-110	40-100
Час висихання лакової плівки до ступеня 3, не більше, за температури	хв.	30/125°C	30/15°C	30/130°C

Час просихання в товстому шарі, не більше, за температури	год.	–	30/155 ⁰ С	6/140 ⁰ С
Електрична міцність плівки не менше, за М(15-35) ⁰ С 45–75 %	МВ/м	22	18	22
Життєздатність із введеним затверджувачем (ініціатором)	доба	10	180	180

Із порівняння характеристик видно, що, на відміну від лаку, компаунди не містять у своєму складі розчинників, тому процес просочення може бути одноразовим. Компаунди мають значно менший час просихання і ширший діапазон зміни в'язкості порівняно з лаками, що є досить зручним у серійному застосуванні. Так, на рис. 1, 2, 3 зображені графіки зміни в'язкості просочувальних матеріалів під час виробничого процесу просочення обмоток тягових електричних машин електропоїздів протягом 8 місяців. З них видно, що на відміну від компаунду всі просочувальні лаки потребують додаткового коригування в'язкості шляхом розбавлення розчинниками (при зростанні в'язкості) або додавання лаку з більшою масовою часткою твердої основи (при зменшенні в'язкості).

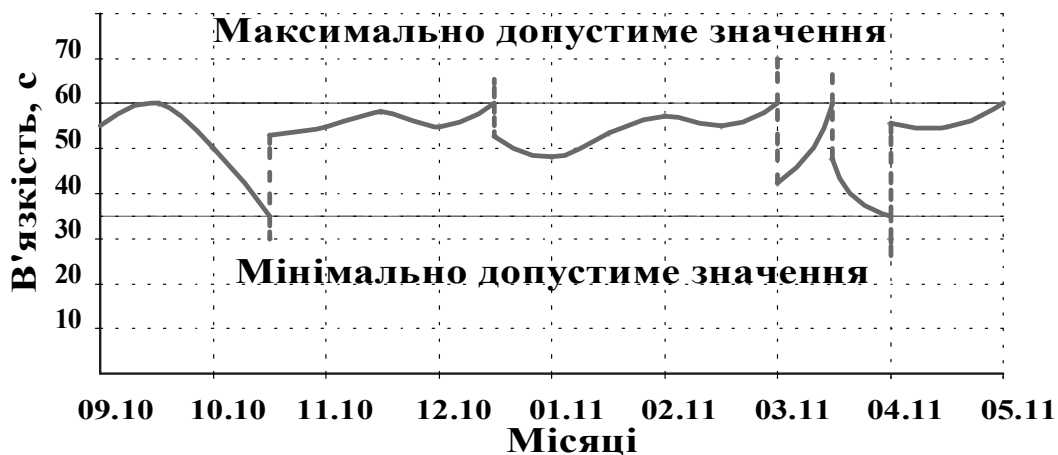


Рис. 1. Зміна в'язкості лаку ФЛ-98 ГОСТ8865-87 у виробничому процесі просочення якірних і полюсних обмоток ТЕД електропоїздів

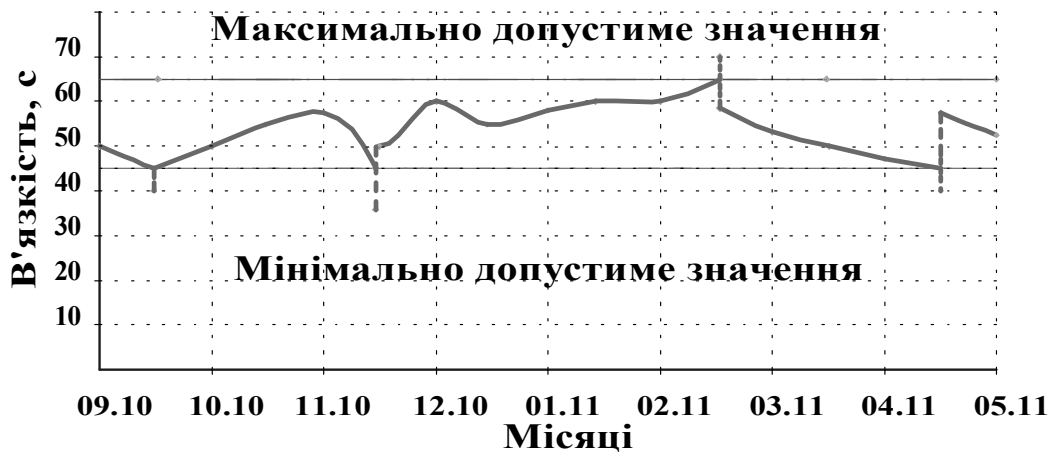


Рис. 2. Зміна в'язкості лаку КО-916 ГОСТ у виробничому процесі просочення якірних обмоток допоміжних електричних машин електропоїздів

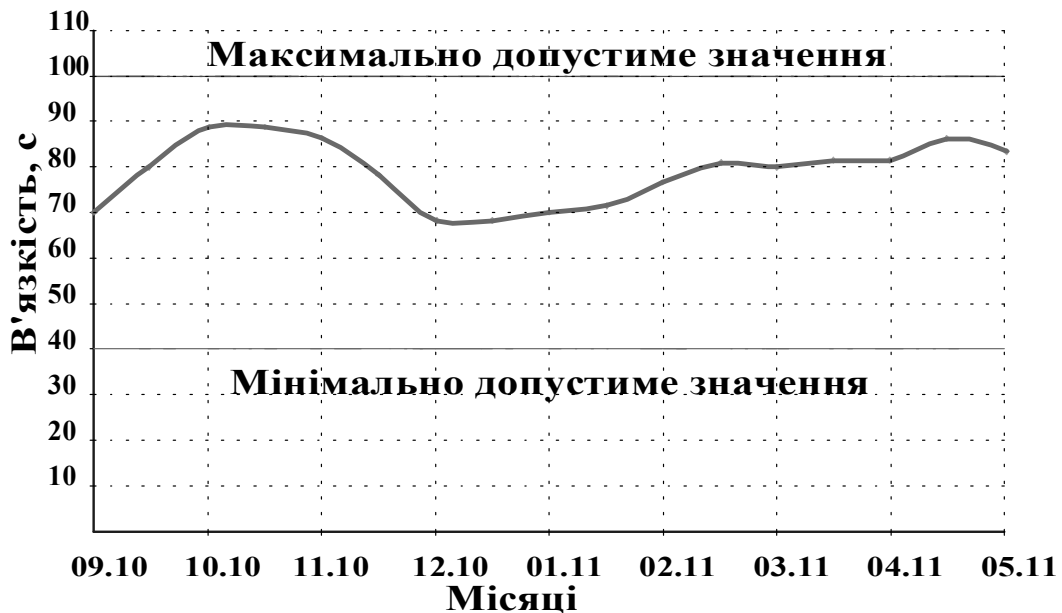


Рис. 3. Зміна в'язкості компаунду «Елпласт-155 ИД(А)» у виробничому процесі якірних обмоток ТЕД електропоїздів

Порівнюючи між собою марки компаундів, зазначені в табл. 2, бачимо, що їхні характеристики приблизно однакові. Однак треба звернути увагу на термін життєздатності та спосіб застосування даних просочувальних матеріалів. Так, компаунд марки КП-34 із введеним ініціатором має термін життєздатності всього 10 діб, що значно зменшує його плюси порівняно з іншими компаундами. Використання цього матеріалу для просочення обмоток тягових електричних машин у виробничому процесі буде недоцільним. Компаунди марок КП-105 та «Елпласт-155» із введеним ініціатором мають регламентований термін

життєздатності 180 діб. Проте компаунд «Елпласт-155» при періодичному «омолодженні», яке відбувається під час додавання матеріалу в просочувальну установку при зменшенні необхідного рівня, не втрачає своїх властивостей упродовж усього часу використання, що підтверджується лабораторними аналізами. Рекомендований спосіб застосування компаунду КП-105 – крапельний (струменевий), компаунду «Елпласт-155» – вакуум-нагнітаючий або зануренням. У цьому плані перевага надається останньому, адже на більшості ремонтних підприємств установлені вакуум-нагнітаючі установки.

Режими просочення обмоток як лаком, так і компаундом, вибирають виходячи із конструктивних особливостей. Термообробка обмоток просочених у компаунді проходить при одному температурному режимі, а обмоток, просочених лаком, – у двох. Це викликано наявністю великої кількості розчинників в складі просочувального матеріалу. Для видалення летких речовин із глибоких шарів ізоляції обмотки спочатку сушать за температури від 70⁰С до 80⁰С, щоб не відбувалось інтенсивного випаровування, яке може призвести до витіснення лаку із пор та капілярів ізоляції. Потім режим перемикають на температуру, за якої відбувається цементация твердої основи. Така особливість знижує технологічність лаків порівняно з компаундами.

Враховуючи той фактор, що за надійністю полімерні компаунди перевищують просочувальні лаки, впровадження їх у виробництво не тільки забезпечує формування ізоляції обмоток тягових електричних машин вищої якості, а й дозволяє значно оптимізувати технологічний процес просочення і скоротити витрати на електроенергію при сушінні обмоток. Також варто зазначити, що властивості полімерних компаундів у складі ізоляції обмоток тягових електричних машин рухомого складу до кінця не визначені. Упровадження цих матеріалів відбулося відносно недавно, а тому питання визначення діелектричних і механічних властивостей в експлуатації, зміна структури матеріалу при перевищенні температурних режимів роботи електричних машин потребують аналізу і додаткових досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. *ГОСТ 12294-66*. Лак электроизоляционный пропиточный ФЛ-98. Технические условия.
2. *ТУ 2257-101-05758799-2003*. Компаунд «ЭЛПЛАСТ-155 ИД».
3. *ГОСТ 16508-70*. Лаки кремнийорганические электроизоляционные. Технические условия.
4. *Каталог продукции ЗАО «Электроизолит»*. Электроизоляционные материалы и системы // 2007. – С. 2–3.
5. *Френкель Е. Б., Комолов В. Г., Файб С. И.* Ремонт электрических машин электроподвижного состава и тепловозов. – М.: Транспорт, 1966. – 452 с.
6. *Данилевский В. И., Мельник Т. М., Данилевский В. В.* Влияние свойств электроизоляционных материалов на долговечность эксплуатации тяговых электродвигателей локомотивов и электропоездов// Локомотивинформ. – 2009.– № 9. – С.4–8.

УДК 666.972.16

*Валерій Чистяков
Анзор Шургея
Катерина Гудіменко
Олександра Дорошенко*

КОМПЛЕКСНА ДОМІШКА ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ БЕТОНІВ ТРАНСПОРТНОГО БУДІВНИЦТВА

В статті розглядаються дані досліджень з використання комплексної добавки для модифікації бетонів транспортного будівництва.

В статье рассматриваются данные исследований по использованию комплексной добавки для модификации бетонов транспортного строительства.

In the article the research data on the use of complex additives to modify the concrete road construction.

Ключові слова: комплексна домішка, морозостійкість, водонепроникність, довговічність бетонів.

Будівництво мостів та шляхопроводів на сьогоднішній день є одним з найбільш важливих і складних елементів комплексу «транспортне будівництво».

В Україні більшість мостів були побудовані в 50-60 роках минулого століття. За час довголітньої експлуатації бетонні та залізобетонні мостові споруди піддаються як суворим природним впливам навколишнього середовища, так і інтенсивному, зростаючому з плином часу, навантаженню, що призводить до необхідності проведення термінового капітального ремонту. [1] В період різкого збільшення транспортних потоків, практично повна відсутність будівництва нових мостів і транспортних розв'язок викликає великі труднощі в пересуванні автомобільного і залізничного транспорту.

До якості бетону, що визначається його складом, способами укладання і подальшим доглядом, висуваються підвищені вимоги по міцності, морозостійкості, водонепроникності, стійкості проти агресивного впливу рідких середовищ, стирання, тріщиностійкості та довговічності. [1] Так само актуальними є питання високої технологічності цементних систем при низькому В/Ц, збереження рухливості бетонних сумішей протягом 1,5-2 години, розширення можливостей цілорічного бетонування, економії цементу та енергоносіїв.

© *Чистяков В. В., Шургея А. Г., Гудіменко К. В., Дорошенко О. Ю., 2011*

Ці вимоги до бетону мостових споруд можуть бути задоволені шляхом застосування домішок у цементобетон. У світовій практиці частка бетонів з вмістом домішок невинно зростає, в промислово розвинених країнах не менше 90% цементного бетону випускають з хімічними домішками. В Україні хімічні домішки застосовуються практично у всіх технологіях виробництва бетону, що сприяє появі нових технологій, реалізувати які без домішок було б просто неможливо. Завдяки ефективним хімічним домішкам, сучасний бетон перетворюється у все більш складний композиційний матеріал, властивості якого можуть набагато перевищувати традиційні склади. [2]

Однак для отримання бетонів високої міцності найефективніше застосування не окремих домішок, а спеціально підібраних комплексних домішок поліфункціональної дії залежно від призначення бетону і вимог, що висуваються до нього. В комплексну домішку має входити ефективний суперпластифікатор, а також домішки, керуючі кінетикою схоплювання і твердіння, повітровтягувальні домішки та піногасники, дисперсні і тонкодисперсні мінеральні наповнювачі. [3] Склад комплексної домішки має відповідати обраній технології і заданим властивостям бетону.

На сьогоднішній день ми знаходимося на новому етапі у розвитку технологій цементобетону – цілеспрямоване управління властивостями бетону за допомогою комплексних домішок нового покоління.

На вирішення цих завдань спрямовані дослідження авторів даної статті. Результати цих досліджень підтверджують, зокрема, особливу перспективність широкого застосування комплексних домішок поліфункціональної дії на основі суперпластифікаторів.

Починаючи з 2007 року в Мостогазоні – 112 м. Бровари, авторами цієї статті проводилися дослідження по підборі складів бетону і комплексних домішок поліфункціональної дії з ОК = ПЗ - Р5, «живучістю» суміші не менше 2 годин, з вимогами по морозостійкості не менше F 200 і класом бетону не менше В25-В50.

У результаті була розроблена ефективна комплексна домішка для бетону [16]. Використання даної домішки дозволило збільшити міцність бетону, у порівнянні з еталонними зразками на більш, ніж 30%, а так само підвищити морозостійкість в 3 рази і зменшити водопоглинання в 2,5 рази. Однак, «недоліком» домішки стали імпорتنі компоненти, які входять до її складу, і це висунуло нове завдання – створення конкурентоспроможної домішки з компонентів вітчизняного виробництва, для більшого економічного ефекту.

При проведенні досліджень були використані такі матеріали:

портландцемент – ПЦ І - 500-Н (ДСТУ Б В.2.7.-46-96);

пісок кварцовий, дніпровський наливний, $M_{кр} = 1,41$; насипна маса в сухому стані – 1500 кг/м^3 ;

щебінь гранітний (ДСТУ Б В.2 ,7-75-98) фракції 5-10 мм, 10-20 мм, насипна маса в сухому стані 1350 кг/м^3 ;

комплексна домішка, в яку входять: суперпластифікатор, пластифікатор, аерант, гідрофобізатор та піногасник.

Для дослідження особливостей процесів гідратації портландцементу застосовувався метод акустичного резонансу дисперсних структур – АРС, розроблений І. Г. Гранковським [4]. У фундаментальних працях І. Г. Гранковського

доведено, що частота резонансу твердіючої системи Ω^{pez} свідчить про зміну пружних властивостей цементно-водної дисперсії і певною мірою характеризує пластичну міцність цементної пасти. Подальший розвиток методу АРС [5-7] довів можливість однозначно ідентифікувати протікання диспергаційних або конденсаційних процесів в твердіючій системі по амплітуді резонансу A_{pez} . Підвищення значень A_{pez} свідчить про зростання ступеня дисперсності гідратованої системи, а зменшення A_{pez} вказує на протікання агрегаційних і конденсаційних процесів.

За допомогою установки П-1Р [4] отримані кількісні характеристики структуроутворення твердіючої системи, модифікованої комплексною домішкою ШАГ (рис. 1). Відразу після замішування в перші 30 хвилин фіксуються істотні процеси диспергування вихідних частинок цементу (збільшення значень A^{pez}) і незначне збільшення пружних властивостей твердіючої системи (крива Ω^{pez}).

Надалі наголошується переважання агрегаційних процесів в гідратуючій системі (зменшення A^{pez}) і спад пружних властивостей цементної пасти (крива Ω^{pez} , 70 хвилин). Спад пружних властивостей обумовлений розрідженням цементної пасти в результаті вивільнення раніше зв'язаної гідратної води [5-7]. Цей період відповідає першій стадії структуроутворення [4].

На наступних етапах фіксуються процеси, що циклічно повторюються, диспергування і конденсації первинних гідратних новоутворень (A_{pez}) і пружних властивостей Ω^{pez} (пластичної міцності) твердіючої системи.

У цей період зазначені вище процеси обумовлюють періодичну перебудову гідратованої системи, що призводить до збільшення міжфазової поверхні і ступеня гідроксилування гідратів [5-7]. На цьому етапі тверднення, коли формується і розвивається колоїдна структура, ці процеси закладають основу матриці, яка формується у подальшому в конденсаційно-кристалізаційній структурі.

Склади з комплексною домішкою ШАГ характеризуються збільшеними у 2-3 рази термінами схоплювання і істотно зменшеною екзотермією. Ці особливості позитивно позначаються на технології бетонування і характеристиках монолітного бетону.

На рис .2 подані результати диференційно-термічного аналізу цементного каменю бездомішкового складу і з комплексною домішкою ШАГ. Модифіковані склади характеризуються уповільненням процесів гідратації. У добовому віці втрата маси Δm (кількість зв'язаної води) становить, відповідно 14,8% (контрольний склад) і 13,4% (з домішкою ШАГ). У 28-добовому періоді відповідно 22,7% і 19,4%. Відносне зменшення ступеня гідратації після 28-ми діб тверднення склало 15%.

Модифікований комплексною домішкою бетон, незважаючи на зменшену на 15% ступінь гідратації цементу, характеризується підвищеною на 20-50% марочною міцністю (табл. 1). Це дозволяє прогнозувати збільшення різниці в міцності при подальшому твердненні, зважаючи на великий резерв негідратованого цементу в модифікованому комплексною домішкою складі.

Другий ендотермічний ефект на кривій ДТА в районі 500⁰С свідчить, що втрати маси препаратів цементного каменю в цьому діапазоні модифікованого складу порівняно з контрольним в два рази менша. Це дозволяє зробити висновки про те, що частка гідроксиду кальцію в модифікованому цементному камені і бетоні зменшується на 50%. Як відомо, Са(ОН)² знижує корозійну стійкість і довговічність бетону. Таким чином, модифіковані комплексною добавкою бетони і мостові конструкції на їх основі будуть характеризуватися підвищеною довговічністю.

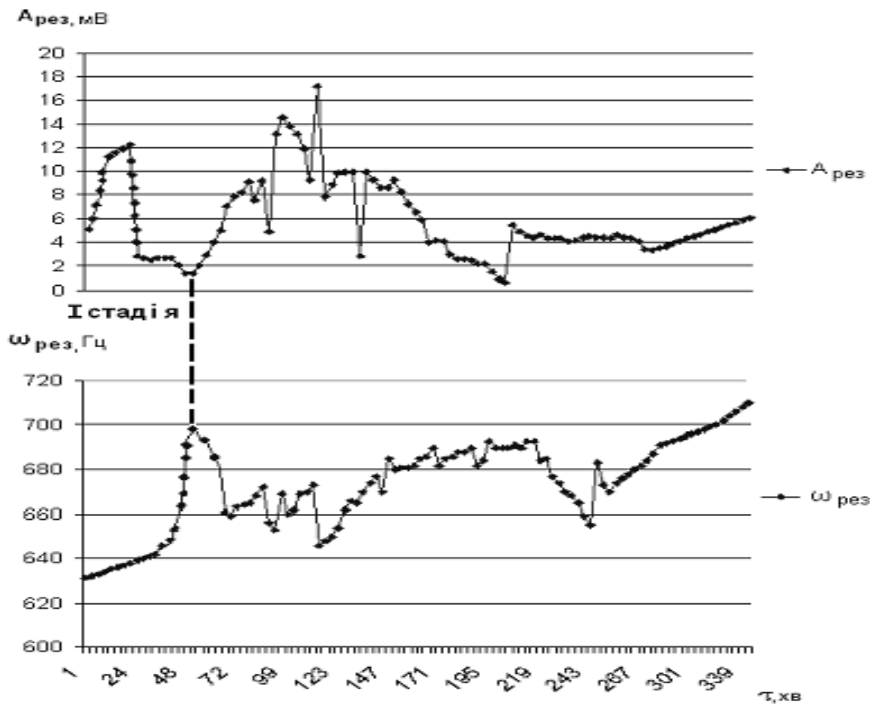


Рис. 1. Криві кінетики структуроутворення цементно-водної дисперсії з домішкою ШАГ (В/Ц = 0,216)

Дослідження, бетонних сумішей і бетону проводилися при витратах цементу: 400, 425, 450, відповідно змінювалося і В/Ц (від 0,314-0,397) і кількість домішки (0,9% – 1,1% від маси цементу).

Застосовані домішки були вітчизняного виробництва або ближнього зарубіжжя (Росія).

Бетонні суміші готувалися у лабораторному змішувачі гравітаційного типу об'ємом 40 л. З отриманих сумішей шляхом вібрування в металевих формах (частота коливань 2800 кол/хв, амплітуда 0,35 мм) виготовлялися зразки-куби з ребром 10 см, які тверднули у нормальних умовах і не піддавалися тепловологісній обробці. Робота проводилася із сумішами і бетонами як для виготовлення мостових конструкцій, транспортного будівництва, так і загально будівельного призначення.

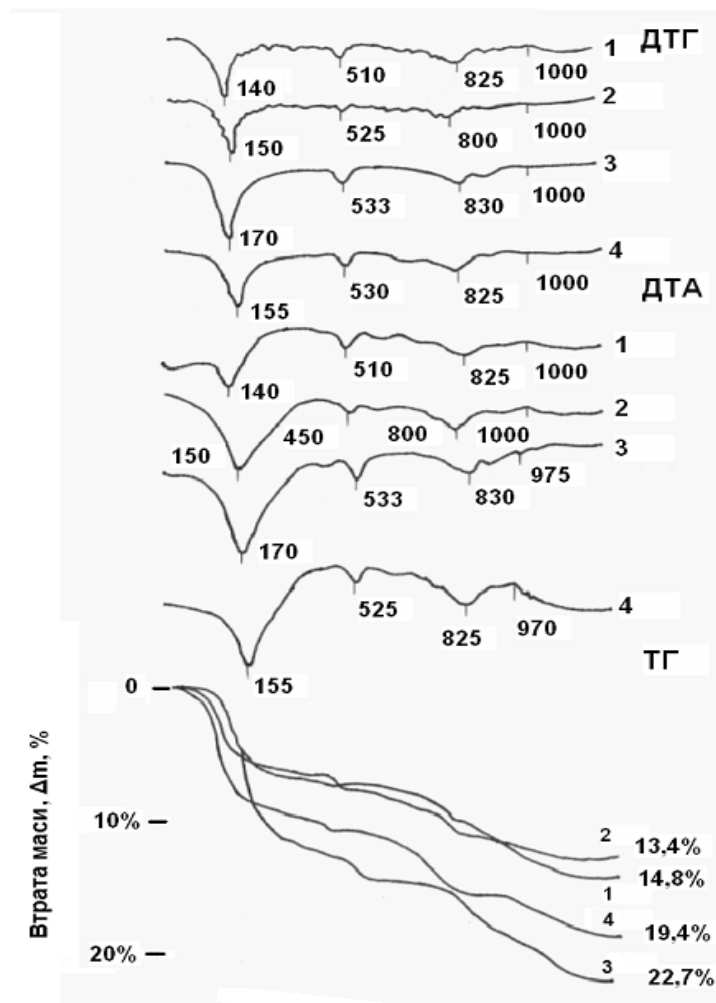


Рис. 2. Криві ДТГ, ДТА, ТГ цементного каменю. Контрольний склад (1,3), склад з домішкою (2,4), 1 доба (1,2), 28 діб (3,4)

Вимоги до бетонів регламентувалися нормативно-технічними документами. [10-15 та ін.].

Одним із основних вимог для бетонів мостових конструкцій крім міцності є забезпечення морозостійкості і водонепроникності бетонів (марка за морозостійкістю не нижче F 200, марка по водонепроникності W8 і більше). Це досягається за рахунок зниження витрати води замішування і створення в бетонних сумішах диспергованої повітряної фази (розмір повітряних бульбашок – до 300 мкм, фактор відстані 100-250 мкм) при обов'язковому застосуванні бездомішкових портландцементів із вмістом мінералу C^3A не більше 8% за масою клінкеру. На практиці зазначені показники отримуються шляхом введення в бетонні суміші комплексних хімічних пластифікуючих і повітровтягувальних домішок.

Таблиця 1

Випробування підборів складу цементобетонною суміші із застосуванням комплексної домішки ШАГ

№ складу, область застосування*	Склад бетонної суміші в кг в розрахунку на 1м ³				Добавки, %	Осадка конуса, см, через хв.		Об'єм залученого повітря, %, через хв.		Межа міцності при стиску, МПа, при нормальному твердненні за період, діб	
	Ц	П	Щ5-10 Щ10-20	В В/Ц		5	45	5	45	7	28
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.Без добавки	350	741	<u>343</u> 801	<u>165</u> 0,471	-	2	1,5	-	-	34,3	45,1
2.«МК»	400	707	<u>332</u> 772	<u>150</u> 0,360	0,9	24	16	4,74	4,25	45,6	54,1
3.«МК»	425	689	<u>332</u> 772	<u>148</u> 0,344	0,9	24	20	5,20	4,55	49,1	58,5
4.«МК»	400	713	<u>332</u> 772	<u>147</u> 0,362	1,0	22	23	5,32	5,57	46,5	54,7
5.«МК»	425	700	<u>332</u> 772	<u>144</u> 0,335	1,0	23	23	5,39	5,65	49,4	58,1
6.«МК»	400	722	<u>332</u> 772	<u>144</u> 0,356	1,1	24	24	6,45	6,64	45,4	51,8
7.«МК»	425	713	<u>332</u> 772	<u>140</u> 0,326	1,1	23	23	6,40	6,51	48,2	55,4
8.«ПЦБ»	400	679	<u>347</u> 806	<u>155</u> 0,38	0,9	25	22	3,75	3,6	48,8	58,1
9.«ПЦБ»	425	665	<u>347</u> 806	<u>153</u> 0,355	0,9	23	21	3,5	3,5	51,2	60,8
10.«ПЦБ»	450	655	<u>347</u> 806	<u>150</u> 0,330	0,9	25	23	3,4	3,35	53,8	64,7
11.«ПЦБ»	425	657	<u>347</u> 806	<u>150</u> 0,348	1,0	23	23	3,65	3,75	53,3	63,7
12.«ПЦБ»	450	646	<u>347</u> 806	<u>147</u> 0,324	1,0	24	25	3,8	3,8	57,8	68,2

* «МК» – бетон для мостових конструкцій; «ПЦБ» – бетон для промислово-цивільного будівництва.

Важливе значення має також збереження легкоукладальності та повітряності бетонних сумішей. Розглянутим комплексом домішок і правильним підбором складу бетону, зокрема, регулюванням кількістю піску і домішки, можна регулювати повітровтягування, що є важливим параметром для бетонів, особливо тих, що подаються бетононасосами.

Бетонні зразки-куби ($10 \times 10 \times 10$ см) складів були так само випробувані на морозостійкість у ДерждорНП. Випробування проводилися за прискореним методом [10]. У результаті було встановлено, що марка за морозостійкістю випробовуваних складів з комплексною домішкою поліфункціональної дії ШАГ склала F 300, що в 3 рази більше порівняно з еталонним складом, що є не більше F 100. Марка бетону по водонепроникності визначалася відповідно до [11], і становить $W \geq 10$.

Встановлено, що комплексна домішка поліфункціональної дії ШАГ є ефективною при застосуванні її як в бетонах при будівництві транспортних споруд, так і бетонах для мостових конструкцій, а також бетонів для промислово-цивільного будівництва. При цьому домішка дає можливість, з поліпшенням технологічних властивостей бетонних сумішей (бетони класу В35-45), сприяти підвищенню морозостійкості, водонепроникності і довговічності бетонів. Це пояснюється поліпшенням параметрів диспергованої в бетонній суміші повітряної фази. Важливо відзначити, що комплекс ШАГ дає можливість значно знизити вартість бетону і підвищити економічну ефективність капітальних вкладень в транспортне будівництво.

Наведені дослідження бетонів із комплексною домішкою дозволили застосовувати в дорожньому будівництві золу-винесення в кількості 5-10%, що дозволить зменшити витрату в'язучого без зниження морозостійкості і водонепроникності цементобетонних покриттів доріг. Досвід європейських країн, Японії та Китаю дозволяє використовувати золу, що регламентується у них відповідними нормативними документами. [8]

Результати випробування комплексної домішки ШАГ дали можливість впровадження розробленого комплексу. Домішка була застосована при бетонуванні плити автопроїзда шляхопроводу розв'язки на Московській площі м. Києва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Джаши Н. А., Петрова Т. М. Современные материалы для строительства и реконструкции автодорожных мостов. – С-Пб.: Дорожная Техника, 2005.
2. Ушеров-Маршак А. В., Циак М. Химические и минеральные добавки в технологии цемента и бетона // Труды международной научно-практической конференции: Современные бетоны, компоненты, технология и качество. – Хортица, 2003.
3. Петрова Т. М., Джаши Н. А., Смирнова О. М., Чистяков Э. Ю. Современные подходы к проектированию составов высокопрочных бетонов // Журнал «Строительный Тендер № 42», 2009.
4. Гранковский И. Г. Структурообразование в цементных вяжущих системах. – К.: Наукова думка, 1984. – 299 с.
5. Чистяков В. В., Дорошенко Ю. М., Гранковский И. Г. Интенсификация твердения бетона. – Киев: Будивельник, 1988. – 118 с.
6. Гранковский В. Г., Чистяков В. В. Особенности гидротации и структурообразования портландцемента на ранних стадиях // Журнал прикладной химии, 1991.–Т. 54. – № 1. – С. 15-20.
7. Чистяков В. В., Гранковский И. Г., Гоц В. И. Формирование структуры твердения шлакощелочного вяжущего // Журнал прикладной химии, 1986. – Т. 59. – № 3. – С. 590-595.
8. Путилин Е. И., Цветков В. С. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. – Москва, 2003.

9. Коваль П. М., Харченко С. З., Шургея А. Г. Особенности технологии бетонирования плиты автопроезда моста в гавань в городе Киеве. Труды Научно-практической конференции «Эффективность применения в бетонах современных добавок». – Киев, 2009.
10. ГОСТ 10060-95 Бетоны. Методы определения морозостойкости.
11. ГОСТ 12730.5-84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.
12. СНиП 2.05.02-85 Автомобильные дороги. Строительные нормы и правила.
13. СНиП 2.05.03-84 Мосты и трубы. Строительные нормы и правила.
14. СНиП 3.06.04-91 Мосты и трубы. Строительные нормы и правила.
15. ГОСТ 26633-91 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
16. Патент Украины № 37100 «Добавка в бетон»

УДК 621.793

*Андрій Андрейцев
Ігор Смирнов*

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУРИ ЧАСТИНОК
ПЛАКОВАНОГО ПОРОШКУ Al_2O_3 ПРИ ПЛАЗМОВОМУ
НАПИЛЕННІ**

Розвинуто математичну модель нагріву частинок плакованого порошку в процесі плазмового напилення з урахуванням зміни температури плазмового струменя. Отримані графічні залежності температури поверхні частинки оксиду алюмінію плакованої шаром міді від часу перебування її в плазмовому струмені.

Развита математическая модель нагрева частиц плакированного порошка при плазменном напылении с учетом изменения температуры плазменной струи. Получены графические зависимости температуры поверхности частицы оксида алюминия плакированной слоем меди от времени ее пребывания в плазменной струе.

The mathematical model of heating the particles of clad powder during plasma spraying is improved taking into account change in temperature of a plasma jet. Graphic dependences of surface temperature alumina particle clated copper layer from the time of its stay in plasma jet are received.

Ключові слова: плазмове напилення, плакований порошок, математична модель, теплопровідність.

Постановка проблеми. Плазмово-порошкові покриття на основі Al_2O_3 широко застосовують для захисту деталей, що працюють в умовах тертя часто при додатковій дії агресивних середовищ та підвищених температур. Порошки оксиду алюмінію мають також відносно невисоку вартість, що обумовлює економічну ефективність їх використання.

Факторами, які впливають на якість покриття, є висока температура плавлення ($2040^{\circ}C$) і низька теплопровідність оксиду алюмінію. Це погіршує прогрів частинок порошку і призводить до формування напиленого шару підвищеної пористості з низькою міцністю зчеплення. Застосування плазмових розпилювачів з високою температурою та ентальпією, викликає дисоціацію оксидів, що також знижує експлуатаційні характеристики покриття.

© Андрейцев А. Ю., Смирнов И. В., 2011

Порошки оксиду алюмінію, плаковані шаром металу, зокрема міддю, значною мірою позбавлені таких недоліків і є більш перспективними для застосування. Мідь, завдяки високій теплопровідності, забезпечує хорошу передачу теплоти до частинки оксиду алюмінію і, поряд з тим, зменшує ступінь його дисоціації.

Аналіз публікацій по темі досліджень. Велику увагу застосуванню та фізико-хімічним аспектам напилення плакованих порошків приділено в [1, 2]. Детальне математичне моделювання та розгляд фізики процесів нанесення плазових покриттів з композиційних плакованих порошків проведено в [3, 4]. В даних роботах розв'язано задачу Стефана для випадку плавлення двошарової композиційної частинки при її транспортуванні в плазовому струмені сталої температури. Встановлено діапазон параметрів, що забезпечують проплавлення плакованої оболонки Ni і розігрів твердого ядра частинки карбиду титану-хрому.

При цьому нагрів частинок даних порошків в плазовому струмені повинен бути в певному інтервалі, щоб забезпечити з одного боку проплавлення тугоплавкого керамічного ядра, а з іншого боку не допустити випаровування металеві оболонки. Дані вимоги обумовлюють створення вдосконалених математичних моделей і проведення уточнених розрахунків з визначення розподілу температур в плакованих частинках при плазовому напиленні.

Мета статті полягала в аналітичному дослідженні особливостей нагріву частинок порошку Al_2O_3 плакованих шаром міді за допомогою математичних моделей процесів теплопровідності в двошаровій сферичній частинці в струмені змінної температури.

Основна частина. Якщо припустити, що частинки плакованого порошку мають сферичну форму, а усі термодинамічні коефіцієнти вважати сталими, то математичну модель можна сформулювати таким чином:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(rT)}{\partial t} &= a^2 \frac{\partial^2(rT)}{\partial r^2}, \text{ при } r \in [0, R] \\ \frac{\partial(rT_1)}{\partial t} &= a_1^2 \frac{\partial^2(rT_1)}{\partial r^2}, \text{ при } r \in [R, R_1] \\ T_1(R, t) &= T(R, t) \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{r=R} &= \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R} \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{r=R_1} &= \left[\alpha \left(\frac{H_{nl}}{C_r} - T_1 \right) - \varepsilon \sigma T_1^4 \right] \Big|_{r=R_1} \\ \lambda_1 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=0} &= 0, \\ T_1(r, 0) &= T(r, 0) = T_0 \end{aligned}$$

де $a^2 = \frac{\lambda}{c\rho}$, $a_1^2 = \frac{\lambda_1}{c_1\rho_1}$; λ , c , ρ та λ_1 , c_1 , ρ_1 – коефіцієнт теплопровідності, питома

теплоємність, густина матеріалу ядра і оболонки, відповідно; α – коефіцієнт теплообміну; H_{nl} – ентальпія плазового струменя; C_r – еквівалентна теплоємність; ε – коефіцієнт чорноти поверхні частинки; σ – стала Стефана – Больцмана; T_0 – початкова температура частинки; R_1 , R – зовнішній і внутрішній радіуси оболонки відповідно.

В [4] розподіл температури в тонкій оболонці знайдено у вигляді двох перших членів розкладу $T_1(t,r)$ в ряд по степенях $\frac{1}{r}$ і зведено задачу теплопровідності в плакованій частинці до наступної:

$$\frac{\partial(rT)}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2(rT)}{\partial r^2}, \text{ при } r \in [0, R] \quad (1)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R} = \left[\alpha_e (T_n - T) - c_1 \rho_1 h \left(1 - \frac{Bi_1}{6} \right) \frac{\partial T}{\partial t} - c_1 \rho_1 h \frac{Bi_1}{6} \frac{\partial T_n}{\partial t} \right] \Big|_{r=R} \quad (2)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0, \quad (3)$$

$$T(r,0) = T_0 \quad (4)$$

де $Bi_1 = \frac{\alpha_e h}{\lambda_1}$; $\alpha_e = \frac{\alpha \lambda_1 R}{\lambda_1 R + \alpha h R_1}$; α – коефіцієнт теплообміну між частинкою порошку і газом; T_n – температура в незбуреному плазмовому потоці; h – товщина оболонки.

Температура в оболонці обчислюється за формулою:

$$T_1(r,t) = T(R,t) + \frac{a_e}{\lambda_1} R^2 \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) [T_n - T(R,t)] \quad (5)$$

В [4] розв'язок крайової задачі (1)–(4) знайдено за умови сталої температури плазмового потоку. Але, як було встановлено в [5] температура плазмового потоку навколо частинки досить точно апроксимується поліномом другого ступеня:

$$T_n = A + Bt + Ct^2. \quad (6)$$

Враховуючи апроксимацію зміни температури плазмового струменя від часу нагріву частинки поліномом другого ступеня розв'язок задачі (5) буде мати такий вигляд:

$$\begin{aligned} T(r,t) = & A + Bt + Ct^2 - \frac{k_c''}{Bi} (B + 2Ct) - \sum_{n=1}^{\infty} A_n(r) \left[(A - 293) e^{-\frac{a^2 \mu_n^2 t}{R^2}} + \right. \\ & + B \left[\frac{R^2}{\mu_n^2 a^2} \left(1 - e^{-\frac{a^2 \mu_n^2 t}{R^2}} \right) - \frac{k_c''}{Bi} e^{-\frac{a^2 \mu_n^2 t}{R^2}} \right] + \\ & \left. + 2C \left[\frac{R^2 t}{\mu_n^2 a^2} - \frac{R^4}{\mu_n^4 a^4} \left(1 - e^{-\frac{a^2 \mu_n^2 t}{R^2}} \right) - \frac{k_c'' R^2}{Bi \mu_n^2 a^2} \left(1 - e^{-\frac{a^2 \mu_n^2 t}{R^2}} \right) \right] \right] \\ A_n(r) = & \frac{2R \sin \mu_n \frac{r}{R}}{\mu_n r} \frac{Bi}{\mu_n \left[\left(1 + k_c' + \frac{Bi-1}{\mu_n^2} \right) \sin \mu_n + \left(k_c' \mu_n - \frac{Bi-1}{\mu_n} \right) \cos \mu_n \right]} \end{aligned} \quad (7)$$

де $Bi = \frac{a_e R}{\lambda}$; $k_c' = k_c \left(1 - \frac{Bi_1}{6} \right)$; $k_c'' = k_c \frac{Bi_1}{6}$; $k_c = \frac{c_1 \rho_1 h}{c \rho R}$

μ – корені трансцендентного рівняння $\cos \mu_n = \left(k_c' \mu_n + \frac{1 - Bi}{\mu_n} \right) \sin \mu_n$

Кількість членів ряду для обчислення приблизної температури частинок оксиду алюмінію з радіусом $R=25$ мкм приймали $n=26$. Корені трансцендентного рівняння визначали за допомогою пакету Mathematica. Таким чином, для отримання остаточного результату необхідно визначити коефіцієнти A , B і C в поліномі (6). Використовуючи дані отримані в [6] маємо для частинки Al_2O_3 — $B=-1,78 \cdot 10^6$; $C=3,798 \cdot 10^{10}$; $a^2=0,023$; $\lambda=0,019$ кал/см²·с·град). Як плазмоутворюючий газ використовувався аргон, для якого $\alpha=0,9$ кал/см²·с·град. Для типових параметрів роботи плазмотрону, температуру плазмового аргонного струменя на зрізі сопла приймали $T_g(0) \sim 10^4$ °С.

На рис. 1 наведено графічні залежності температур поверхонь частинок порошку чистого Al_2O_3 та плакованого оболонкою з міді різної товщини від часу перебування їх в струмені плазми.

На рис. 2 наведено результати розрахунку температури плакованої частинки Al_2O_3 радіусом 25 мкм залежно від відстані від центра частинки r та часу перебування частинки в плазмовому струмені t .

Зазначимо, що отриманий розв'язок також може бути використаний за умови лінійної залежності температури плазми навколо частинки, в цьому випадку $C=0$. Розв'язок (5) отриманий в [2] теж є частковим випадком (7).

У загальному випадку можливо побудувати відповідні розв'язки для будь-якої поліноміальної, а також експоненціальної залежності температури плазмового струменя від часу перебування частинки порошку в його потоці.

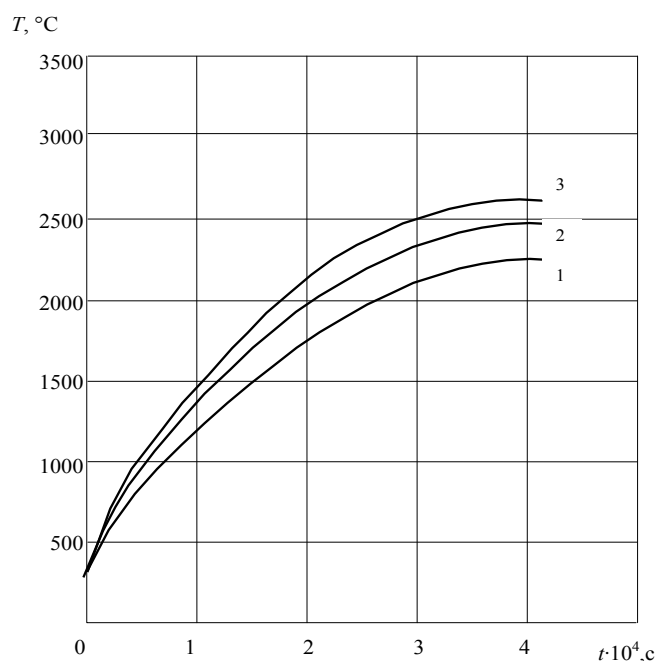


Рис. 1. Температура поверхні частинки Al_2O_3 радіусом $R=15$ мкм від часу перебування в струмені плазми:

1 – неплакованої; 2 – плакованої шаром міді товщиною 1 мкм; 3 – плакованої шаром міді товщиною 1,5 мкм

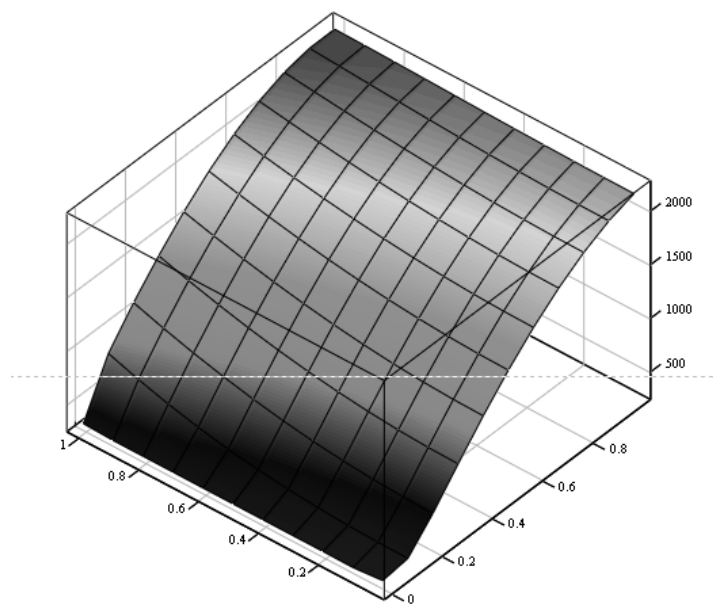


Рис. 2. Залежність температури частинки Al_2O_3 плакованої шаром міді від r та t

Висновки та результати подальших досліджень. На підставі проведених розрахунків за розробленими математичними моделями, встановлено вплив мідної оболонки на температуру нагріву поверхні напилюваної частинки, при цьому показано, що збільшення товщини оболонки на 1 мкм призводить до підвищення температури частинки більш ніж на 100°C .

Перспективами подальших досліджень є визначення впливу плакуючої оболонки на температурний режим плакованої частинки з урахуванням фазових перетворень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кулик А. Я., Борисов Ю. С., Мнухин А. С., Никитин М. Д. Газотермическое напыление композиционных порошков. – Л.: Машиностроение, 1985.– 199 с.
2. Анциферов В. Н., Шмаков А. М., Агеев С. С., Буланов В. Я. Газотермические покрытия / Под ред. В.Н. Анциферова. – Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. – 318 с.
3. Барвинок В. А., Богданович В.И., Докукина И.А., Китайкин В.Л., Плотников А.Н. Математическое моделирование нагрева порошкового композиционного материала в плазменной струе // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2001. – № 2.– С. 197-203.
4. Барвинок В. А., Богданович В. И., Докукина И. А., Плотников А. Н. Математическое моделирование и физика процессов нанесения плазменных покрытий из композиционных плакированных порошков/ Международный центр научной и технической информации. – М., 1998.– 96 с.
5. Андрейцев А. Ю., Смирнов I.B. Моделювання процесів руху та нагріву частинки при плазовому напилюванні. Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації: Збірник наукових праць. – Київ – Кам’янець-Подільський, 2006. – С. 77-82.
6. Смирнов И. В., Андрейцев А. Ю., Черный А. В. Аналитическое определение скорости и температуры частиц оксидной керамики в процессе плазменного напыления // Вестник ХНТУ. — 2009. – № 2(35). – С. 403-410.

УДК 539.374

Наталія Белевцова

**УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ В ДВУХ
НАПРАВЛЕНИЯХ ПРИ НЕОСЕСИММЕТРИЧНЫХ
НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ НАГРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ
ИСТОРИИ ИХ ПРОТЕКАНИЯ**

В статье исследуется напряженное состояние оболочек вращения переменной жесткости в двух направлениях при неосесимметричных неизоотермических процессах нагружения с учетом истории их протекания.

У статті досліджується напружений стан оболонок обертання змінної жорсткості в двох напрямках при неосесиметричних неізотермічних процесах навантаження з урахуванням історії їх перебігу.

The authors examine the stressed state of shells of revolution of variable stiffness in two directions at neosesymetrychnyh non-isothermal processes of loading, taking into account the history of their course.

Ключевые слова: оболочка вращения, неизоотермические процессы нагружения, учет истории протекания.

Настоящая работа является продолжением работ [1–4]. В ней исследуется влияние истории нагружения на напряженное состояние оболочек вращения переменной жесткости в двух направлениях, находящихся под действием неосесимметричных поверхностных сил и неравномерного нагрева. Задача решается в квадистатической и геометрически линейной постановке на основе теории простых процессов нагружения с учетом истории их протекания [5; 6] и теории тонких оболочек В. В. Новожилова [7]. Физические соотношения линеаризируются методом последовательных приближений в форме переменных параметров упругости [5; 8]. Механические характеристики материала зависят от температуры, деформации ползучести не учитываются.

Численно задача решается методом Рунга-Кутты с дискретной ортогонализацией по С. К. Годунову [9].

Разрешающая система уравнений [1] имеет вид:

$$\frac{\partial \bar{N}}{\partial S} = \hat{O} \left(\bar{N}; \frac{\partial \bar{N}}{\partial \theta}; \frac{\partial^2 \bar{N}}{\partial \theta^2}; \frac{\partial^3 \bar{N}}{\partial \theta^3}; \frac{\partial^4 \bar{N}}{\partial \theta^4} \right), \quad (1)$$

© Белевцова Н. Л., 2011

где \bar{N} – вектор разрешающих функций $[N_r; N_z; \hat{S}; M_S; U_r; U_z; v; u_S]$.
 История нагружения учитывается членами, входящими в (1):

$$\begin{aligned} N_S^o &= \int_{-h/2}^{h/2} \frac{2G^*}{1-v^*} (\varepsilon_S^{lp} + v^* \varepsilon_\theta^{lp}) d\xi; \\ M_S^o &= \int_{-h/2}^{h/2} \frac{2G^*}{1-v^*} (\varepsilon_S^{lp} + v^* \varepsilon_\theta^{lp}) \xi d\xi; \\ S^0 &= \int_{-h/2}^{h/2} G^* \varepsilon_{S\theta}^{lp} d\xi. \quad H^0 = \int_{-h/2}^{h/2} G^* \xi \varepsilon_{S\theta}^{lp} d\xi; (S; \theta) \end{aligned} \quad (2)$$

Где $G^*; v^*$ – переменные параметры упругости, которые определяются из предыдущего приближения [6]; $\varepsilon_S^{lp}; \varepsilon_\theta^{lp}; \varepsilon_{S\theta}^{lp}$ – пластические составляющие компонент тензора деформаций в момент начала разгрузки, которые определяются зависимостями:

$$\varepsilon_S^{lp} = (\Psi - 1/2G) (\sigma_S - \sigma_o); (S; \theta; \xi); \quad \varepsilon_{S\theta}^{lp} = (\Psi - 1/2G) \sigma_{S\theta} \quad (3)$$

здесь $\sigma_S; \sigma_\theta; \sigma_{S\theta}$ – компоненты тензора напряжений; σ_i – среднее нормальное напряжение; Ψ – функция пластичности; символ $(S; \theta)$ означает перестановку индексов.

Переменность толщины в окружном направлении учитываем коэффициентами в (1), имеющими следующий вид:

$$C_1 = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{2G^*}{1-v^*} d\xi; \quad C_2 = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{2G^*}{1-v^*} v^* d\xi \quad \text{и т.д.} \quad (4)$$

Здесь h – толщина оболочки в рассматриваемой точке.

Исследуем влияние истории нагружения на напряженное состояние оболочки вращения с переменной жесткостью в меридиональном и окружном направлениях. С этой целью рассмотрим термоупруго-пластическое напряженное состояние оболочки вращения со сложной формой меридиана переменной жесткости в двух направлениях. Геометрию оболочки приведем на рис. 1. Толщина оболочки изменяется вдоль окружной координаты по закону:

$$h = h_o(1 + 0,5 \cos \theta), \quad (5)$$

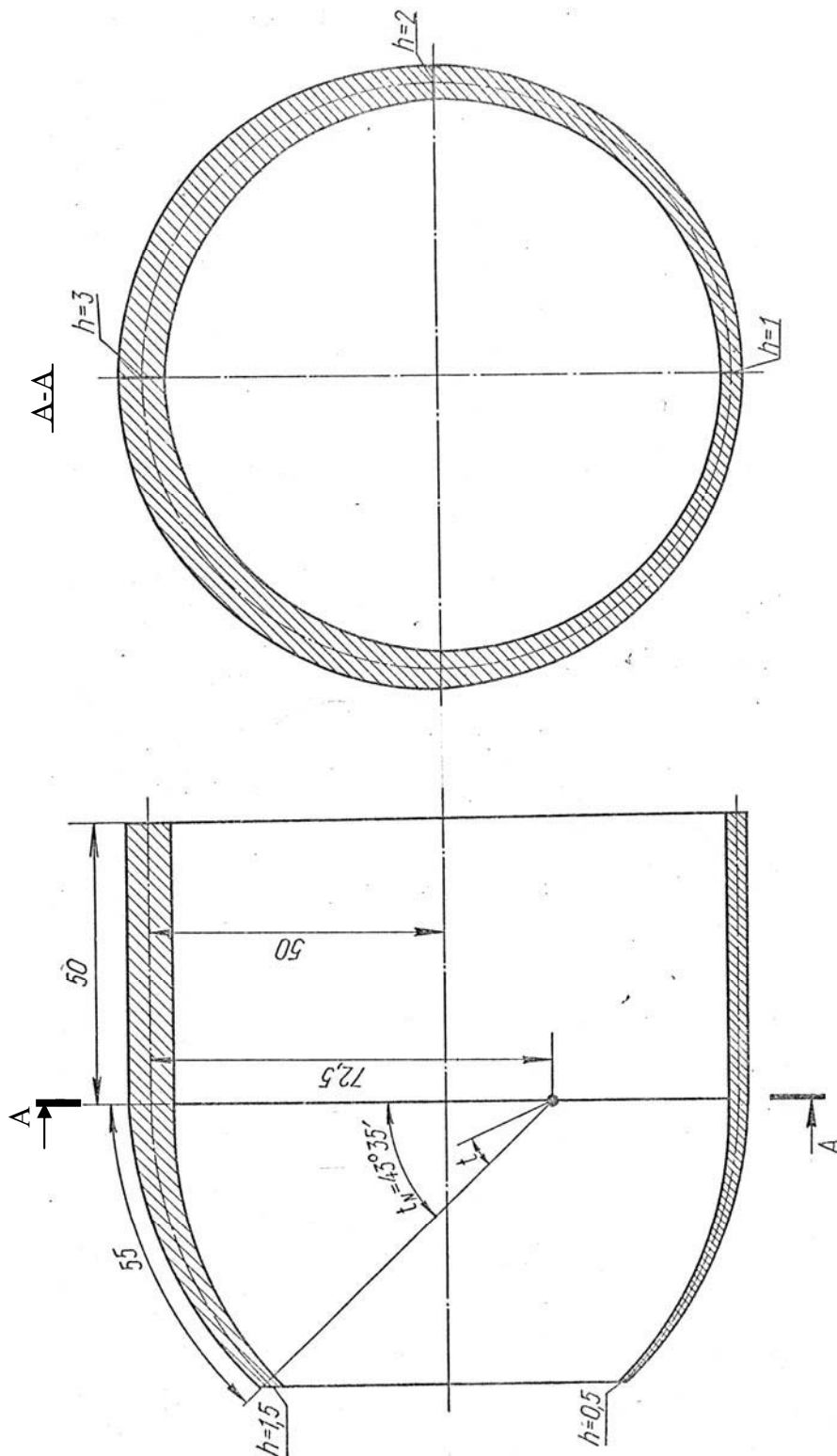


Рис. 1. Оболочка вращения со сложной формой меридиана

где h_0 – значение толщины оболочки, определяющееся для бочкообразного звена зависимостью:

$$h_0 = \frac{h_k - h_n}{t_n} t + h_n, \quad (6)$$

Здесь h_n, h_k – значение толщины оболочки в сечении $\theta=\pi/2$ – в начале и конце бочкообразного звена соответственно; t – текущее значение угла t_n . Для цилиндрической части $h_0 = \text{const}$.

Оболочка находится в условиях конвективного теплообмена. Температура среды, омывающей оболочку с наружной поверхности, изменяется по закону:

$$\theta_1 = (380 - 360 e^{-0,3tc}) (1 + 0,25 \cos \theta) [1 - 0,002(S - S_0)] \text{ } ^\circ \text{C} \quad (7)$$

где t_c – время; S_0 , – начальное и текущее значения меридиональной координаты. Внутренняя поверхность оболочки, также как правый и левый торцы ее, теплоизолированы. Теплофизические характеристики материала оболочки в процессе нагревания следующие:

$$\lambda = 0,1163 \text{ Вт/см} \cdot \text{град} ; \alpha_1 = 0,1163 \text{ Вт/см}^2 \cdot \text{град} ; \quad (8)$$

$$\alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0 ; \quad \alpha = 0,037 \text{ см}^2 / \text{с}.$$

Температурное поле оболочки получено путем решения задачи теплопроводности, по методике, предложенной в работе [5], при разбиении оболочки: $K_s = 53, K_\theta = 19, (0 \leq \theta \leq \pi), K_z = 5$. По толщине оболочки температура аппроксимировалась полиномом пятой степени, и в решении удерживалось две гармоники по косинусам. Изменение температурного поля с течением времени для моментов времени 1,2,3,5,7,9,10,14,30 с – по толщине оболочки в сечениях $\theta=0, \theta=\pi/2, \theta=\pi$ для значений меридиональной координаты $S=0, S=55 \text{ см}, S=105 \text{ см}$ приведены на рис. 2. Оболочка выполнена из стали ЭИ-435.

Слева оболочка жестко закреплена, а справа шарнирно оперта. Граничные условия выражаются через основные разрешающиеся функции и имеют вид: слева – $U_r = U_z = v = v_s = 0$, справа – $M_s = N_z = U_r = v = 0$.

Расчет оболочки проводился при следующем разбиении: $K_s = 53, K_\theta = 19, (0 \leq \theta \leq \pi), K_z = 5$. Искомые функции представлялись первыми двумя, четырьмя и пятью гармониками по косинусам.

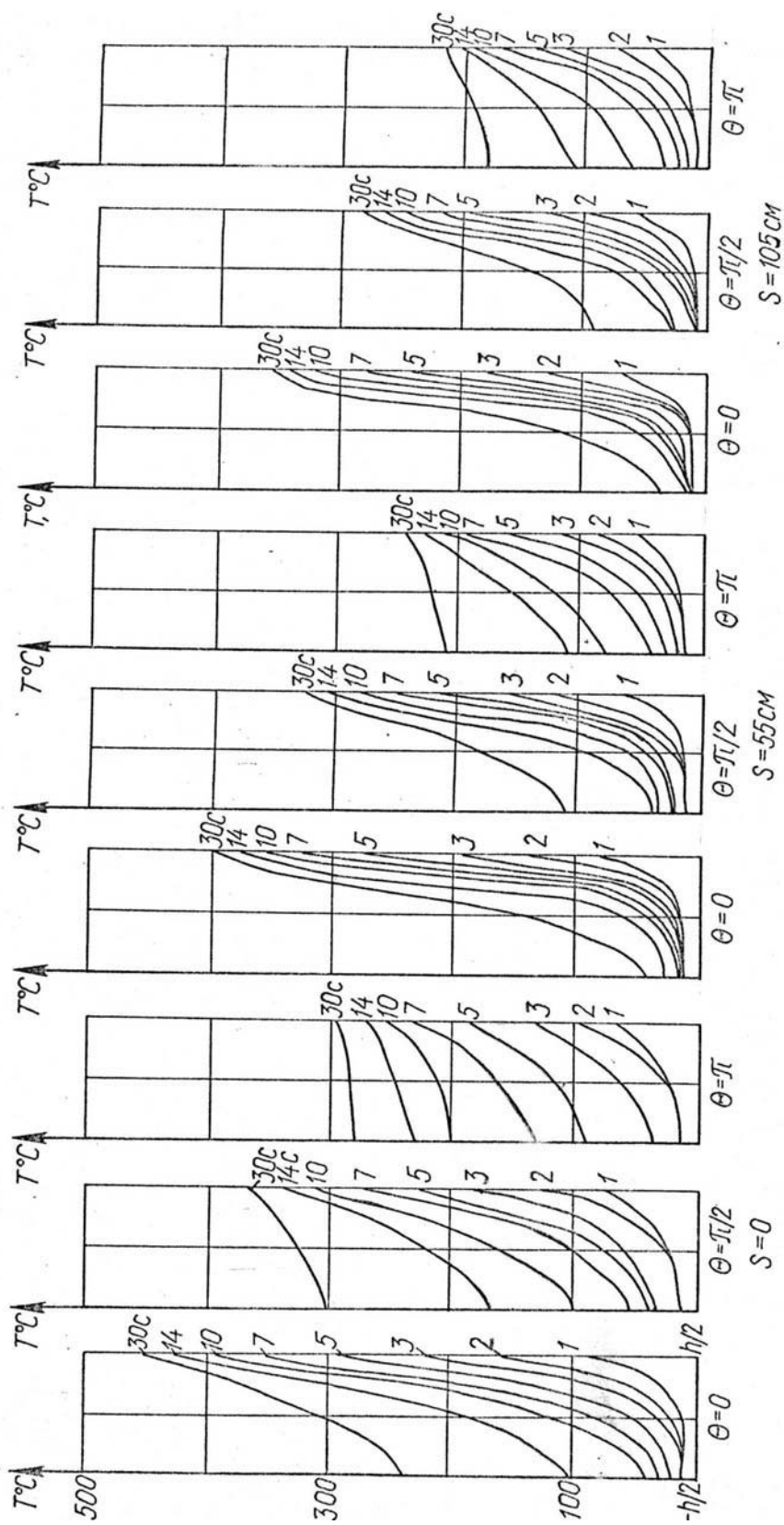


Рис. 2 . Изменение температуры по толщине оболочки с течением времени

Расчет показал, что результаты при представлении искомым функций двумя гармониками отличаются от результатов с четырьмя гармониками на 10-13% по деформациям и не более 7% по напряжениям. Учет же пятой гармоники уточняет результаты, полученные при представлении искомым функций четырьмя первыми гармониками, не более 0,9%. Поэтому в расчете искомое решение представлялось четырьмя первыми гармониками по косинусам.

Для проверки достоверности полученных результатов задача просчитывалась и с другими вариантами разбиения:

$$1 - K_s = 106, K_\theta = 19, (0 \leq \theta \leq \pi), K_z = 5 ;$$

$$2 - K_s = 106, K_\theta = 19, (0 \leq \theta \leq \pi), K_z = 7 ;$$

$$3 - K_s = 106, K_\theta = 37, (0 \leq \theta \leq \pi), K_z = 5 .$$

Причем результаты, полученные по первому варианту разбиения и по принятому выше, отличаются не более чем на 1,2%, а по второму и третьему вариантам – не более чем на 2,5% при представлении искомым функций четырьмя первыми гармониками по косинусам.

Расчет проводился поэтапно: до 10 с – с шагом 1,2 с (1,2,3,5,7,9,10 с.) и с 10 с до 30 с – с шагом 4-8 с. (10, 14,22,30 с), а также с большим количеством этапов: до 10 с с шагом 1с и с 10 до 30 с с шагом 2 с, максимальное отличие, результатов при этом не превысило 2,6%.

На рис. 3, 4 приведен для момента времени» равного 30 с., вдоль координаты S эпюры меридиональных и окружных напряжений для точек наружной поверхности оболочки при значениях окружной координаты $\theta=0, \theta=\pi/2, \theta=\pi$, а на рис. 5, 6 – эпюры этих же напряжений для точек внутренней поверхности оболочки при $\theta =0, \theta=\pi/2$, а также эпюры касательных напряжений для точек внутренней и наружной поверхностей ее при $\theta=\pi/2$. На этих рисунках сплошными линиями построены эпюры напряжений, рассчитанные с учетом истории нагружения, а пунктирными – без ее учета. Из рис. 3 - 6 видно, что максимальные меридиональные и окружные напряжения возникают в жестком защемлении в оболочке, а также при значениях меридиональной координаты $S=16-20$ см и $S=93 - 97$ см, причем максимальные касательные напряжения составляют всего лишь 12% от максимальных меридиональных и окружных напряжений. Учет истории нагружения для точек внутренней поверхности ведет к уменьшению меридиональных напряжений на 20%, а окружных – на 42% в области максимальных значений. Для точек наружной поверхности оболочки учет истории нагружения приводит не только к количественному в 2,3 раза, но и изменению знака напряжений (рис. 3, 4). Причем отличие напряжений, рассчитанных с учетом и без учета истории нагружения, с течением времени увеличивается. На рис. 7 приведены для значений координат $\theta =0$ и $S=8$ см эпюры меридиональных (кривые 1) и окружных (кривые 2) напряжений с учетом (сплошные линии) и без учета (пунктирные линии) истории нагружения с течением времени. Из рисунка видно, что с течением времени расчет с учетом истории нагружения приводит не только к количественному, но и качественному отличию результатов.

Проведенные исследования в [2 - 4] доказывают, что учет истории нагружения при определении напряженного состояния оболочки приводит к уточнению результатов не только количественных, а и качественных и является необходимым.

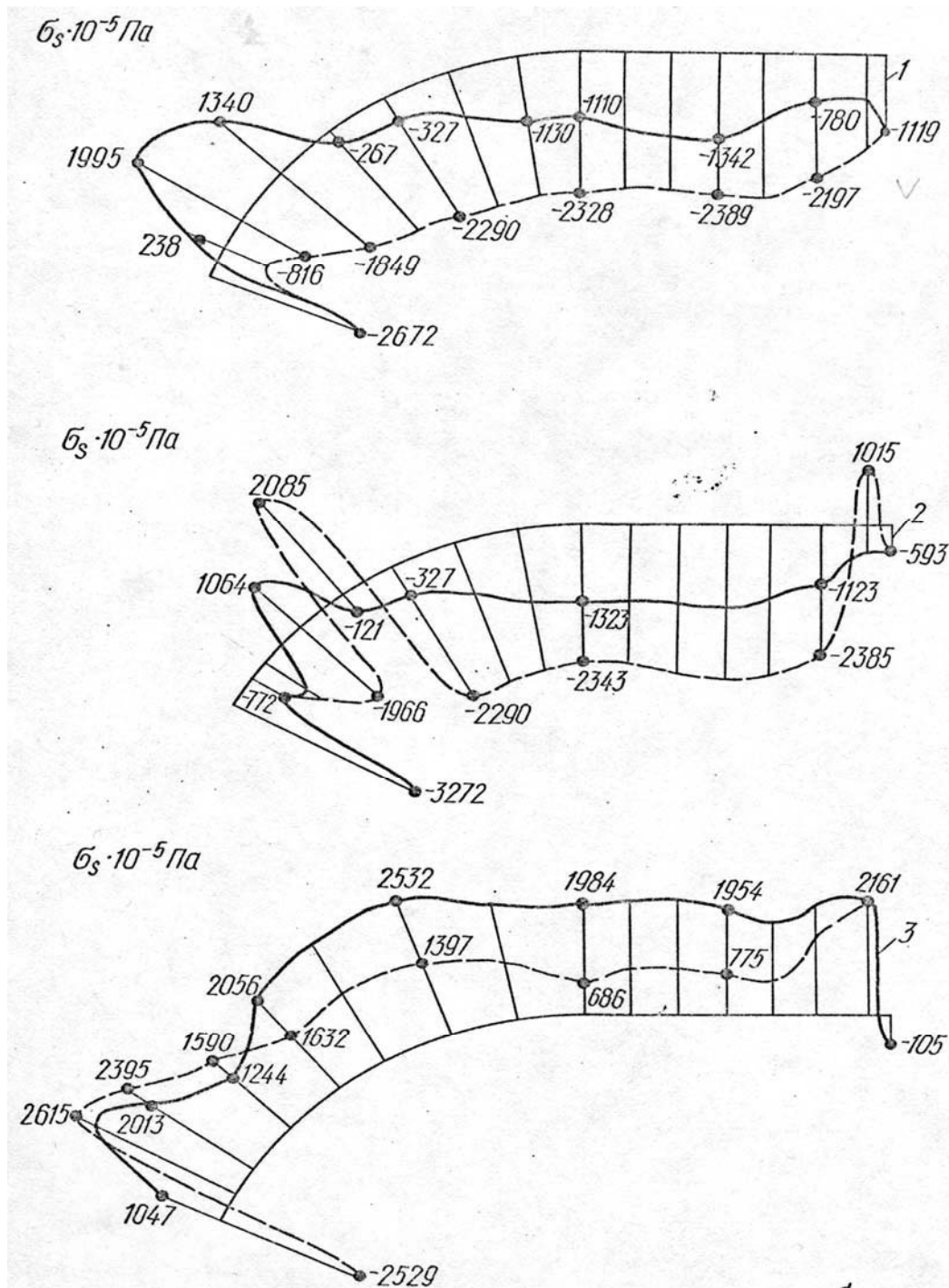
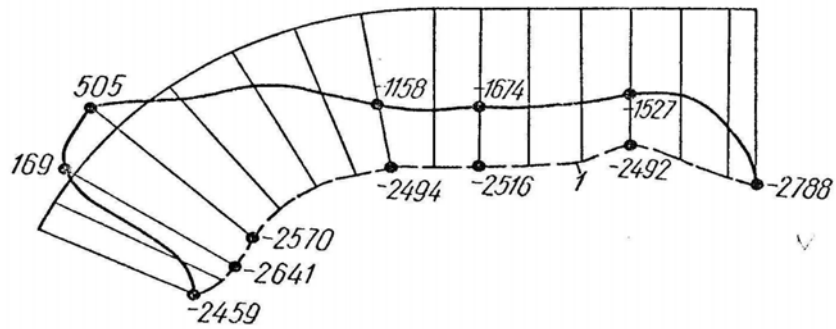


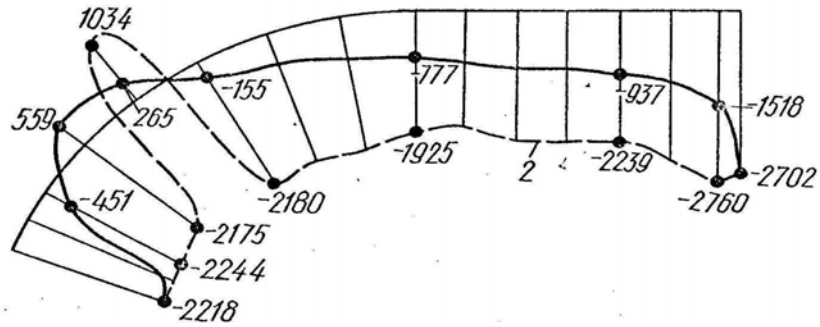
Рис. 3. Эпюры меридиональных напряжений σ_s вдоль S:

- 1 – при $\theta=0, \xi=h/2$;
- 2 – при $\theta=\pi/2, \xi=h/2$;
- 3 – при $\theta=\pi, \xi=h/2$

$\sigma_{\theta} \cdot 10^{-5} \text{Па}$



$\sigma_{\theta} \cdot 10^{-5} \text{Па}$



$\sigma_{\theta} \cdot 10^{-5} \text{Па}$

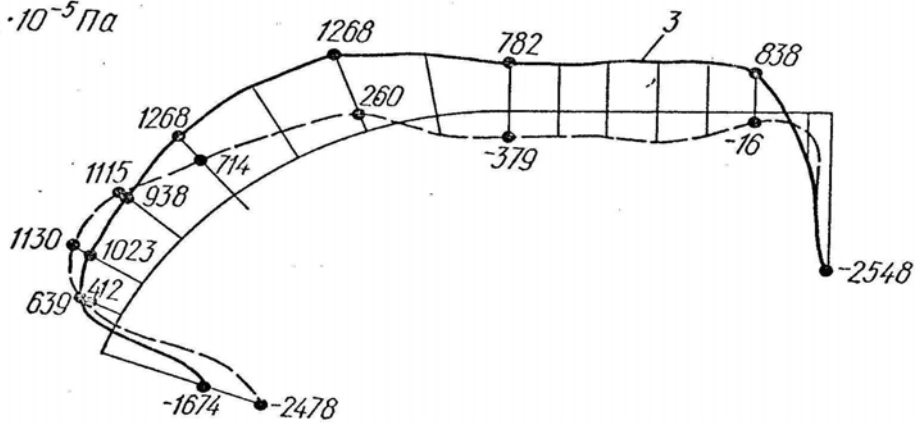


Рис. 4. Эпюры окружных напряжений σ_{θ} вдоль S:
 1 – при $\theta=0, \xi= h/2$; 2 – при $\theta=\pi/2, \xi=h/2$;
 3 – при $\theta=\pi, \xi=h/2$

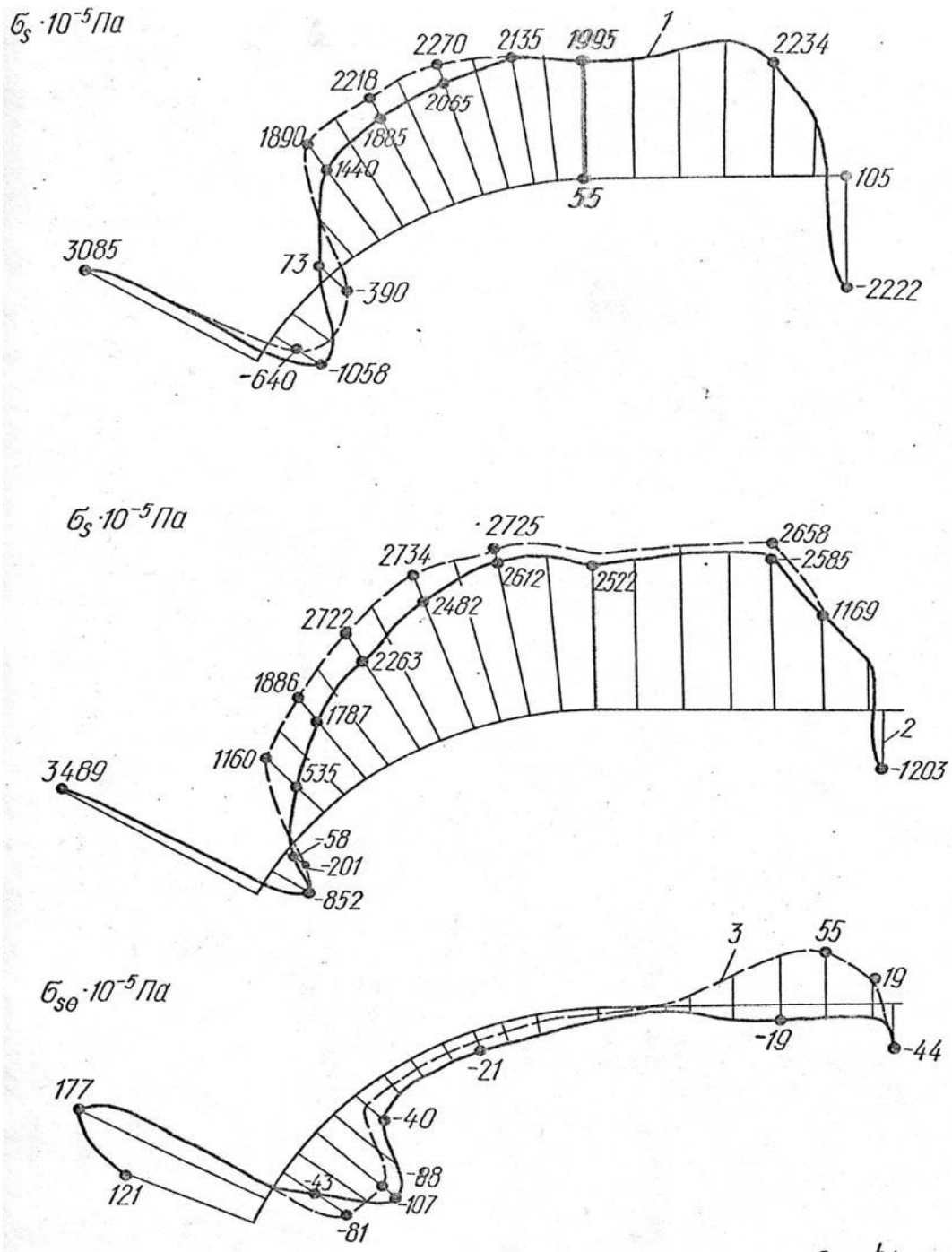


Рис. 5. Эпюры напряжений вдоль S, при $\xi = -h/2$:
 1 – меридиональных σ_s , при $\theta=0$; 2 – меридиональных σ_s , при $\theta=\pi/2$;
 3 – касательных σ_{s0} , при $\theta= \pi/2$

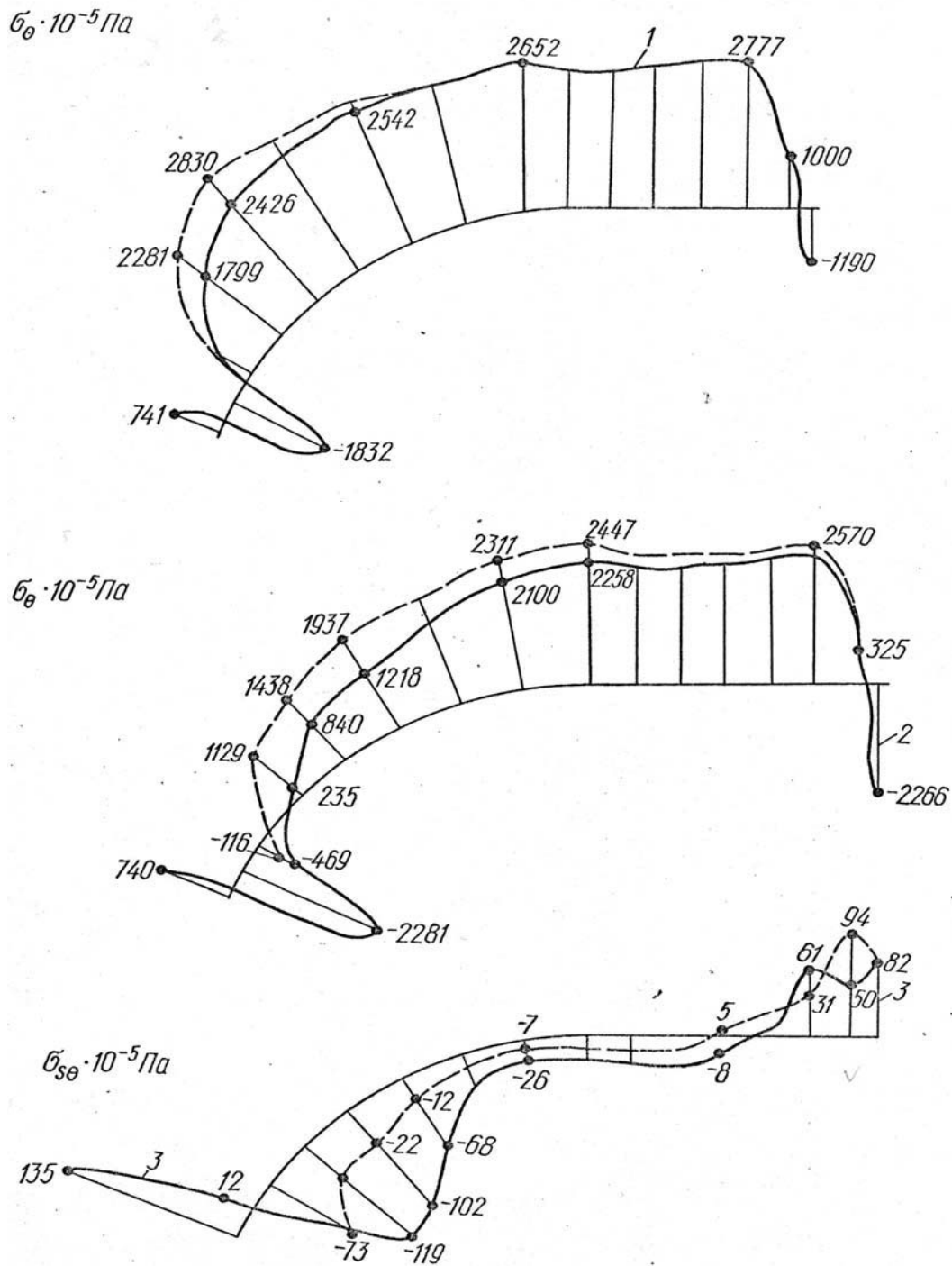


Рис. 6. Эпюры напряжений вдоль S:
 1 – окружных σ_θ , при $\theta=0, \xi=-h/2$; 2 – окружных σ_θ , при $\theta=\pi/2, \xi=-h/2$;
 3 – касательных σ_{s0} , при $\theta=\pi/2, \xi=h/2$

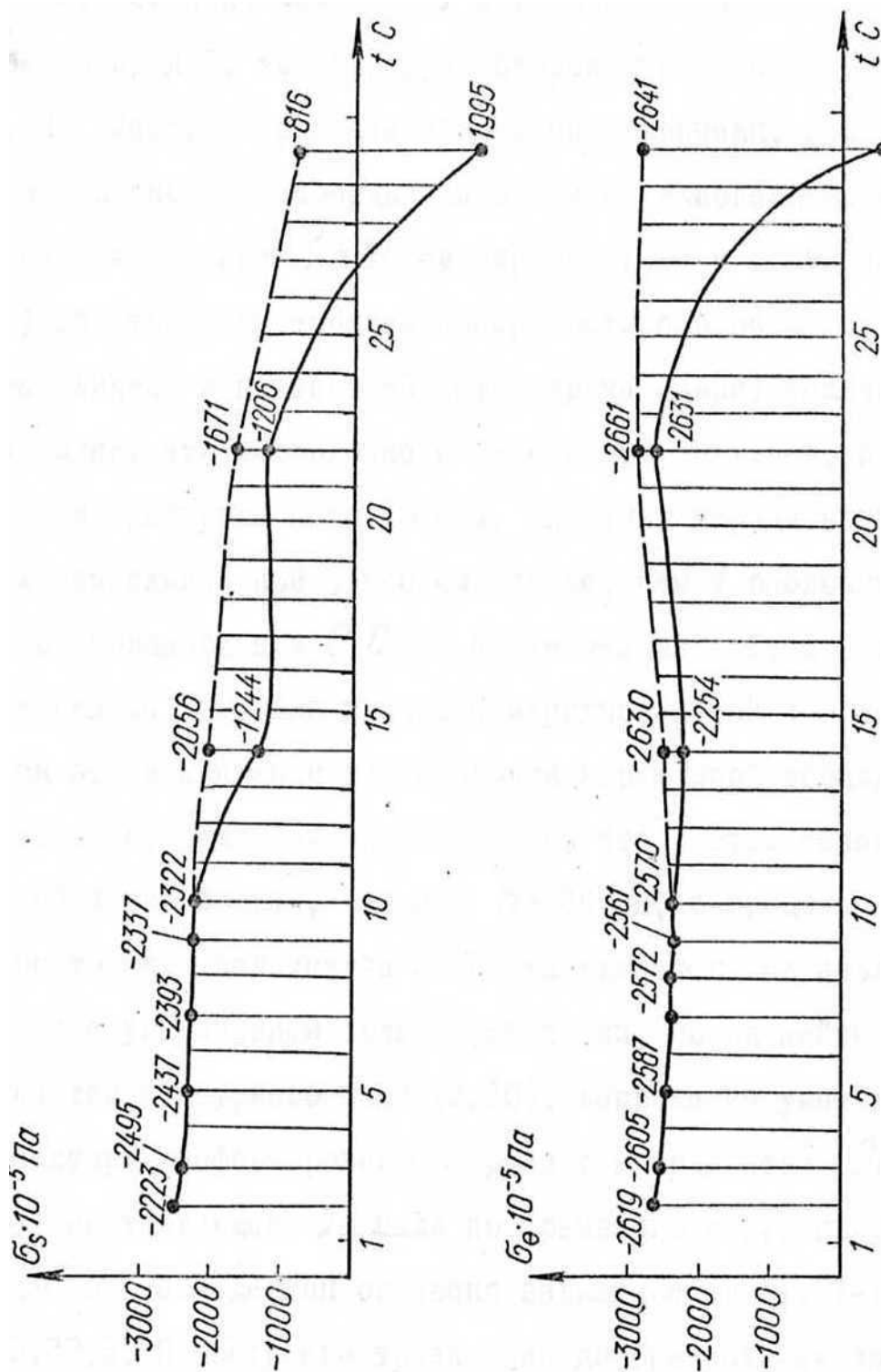


Рис. 7. Эпюры напряжений с течением времени при $\theta=0$, $S=8$ см:
 1 – меридиональных σ_θ ; 2 – окружных σ_s

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белевцова Н. Л.* Термоупруго-пластическое напряженное состояние оболочек вращения при неосесимметричной нагрузке с учетом истории нагружения // Прикл. механика. – 1982. – 18. – № 7. – С. 117-120.
2. *Белевцова Н. Л.* Исследование влияния истории нагружения на напряженное состояние оболочек вращения переменной жесткости в двух направлениях // Прикл. механика. – 1986. – 22. – № 4. – С. 109-112.
3. *Белевцова Н. Л.* Термоупруго-пластическое напряженное состояние несимметричных оболочек вращения с учетом вторичных пластических деформаций // Збірник наукових праць. – КІЗТ, 1998. – том 1. – Вип.2. – С. 196-198.
4. *Белевцова Н. Л.* Термоупруго-пластичний стан оболонки обертання із перемінною жорсткістю у коловому напрямку при простих процесах навантаження з урахуванням їх історії // Збірник наукових праць ДЕУТ. Серія «Транспортні системи і технології», 2010. – Вип.17. – С. 142-147.
5. *Шевченко Ю. Н.* Прохоренко И. В. Теория упруго-пластических оболочек при неизотермических процессах нагружения. – К.: Наук. думка, 1981. – 296 с. – (Методы расчета оболочек: В 5-ти т.; т.3)
6. *Ильюшин А. А.* Пластичность. – М.: Гостехиздат. – 1948. – 376 с.
7. *Новожилов В. В.* Теория тонких оболочек. – Л.: Судпромгиз, 1962. – 432с.
8. *Биргер И. И.* Некоторые общие методы решения задач теории пластичности // Прикл. математика и механика. – 1951. – 15. – № 6. – С. 765-770.
9. *Годунов С. К.* О численном решении задач // Успехи мат. наук. 1961. –16. – № 3. – С. 171-174.

УДК 539.3

Микола Крюков

**ДЕФОРМУВАННЯ БІМЕТАЛІЧНИХ ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ
В ДОКРИТИЧНІЙ ОБЛАСТІ**

Запропоновано підхід до дослідження деформації біметалічних оболонок обертання в температурному полі в докритичній області на основі геометрично нелінійної теорії тонких шаруватих оболонок. Він базується на застосуванні методу лінеаризації нелінійної крайової задачі і стійкого чисельного методу дискретної ортогоналізації розв'язання лінійних систем диференціальних рівнянь. Наведено приклади дослідження деформування конкретних оболонок в рівномірному температурному полі.

Предложен подход к исследованию деформации биметаллических оболочек вращения в температурном поле в докритической области на основе геометрически нелинейной теории тонких слоистых оболочек. Он базируется на применении метода линеаризации нелинейной краевой задачи и устойчивого численного метода дискретной ортогонализации решения линейных систем дифференциальных уравнений. Приведены примеры исследования деформирования конкретных оболочек в равномерном температурном поле.

Offered approach to research of deformation of bimetallic shells of rotation in the temperature field in a subcritical area on the basis of geometrically nonlinear theory of the thin laminated shells. He is based on application of method of linearization of nonlinear boundary value problems and steady numeral method of the discrete orthogonalization of solution of the linear systems of differential equations. Examples of research of deformation of concrete shells are made in the even temperature field.

Ключові слова: деформація, біметалічні оболонки обертання, метод лінеаризації, метод дискретної ортогоналізації.

Біметалічні оболонки обертання є невід'ємними пружними термочутливими елементами багатьох прецизійних приладів. Як правило, такі елементи працюють в пружній області при великих переміщеннях. Цим обумовлений теоретичний і практичний інтерес до дослідження напружено-деформованого стану вказаного класу задач [1–3]. При цьому будуються наближені аналітичні розв'язки на основі різних моделей деформування для сферичних і конічних оболонок.

© Крюков М. М., 2011

У статті досліджується деформування тонких біметалічних довільних оболонок обертання в температурному полі за допомогою методів чисельного аналізу, що дозволяє отримати розв'язок з достатнім ступенем точності.

За вихідні приймаються геометрично нелінійні співвідношення теорії тонких шаруватих оболонок обертання в квадратичному наближенні, що базуються на гіпотезі Кіргофа-Лява для всього пакету шарів у цілому [4]. Шари пакету деформуються без ковзання та відриву. При цьому приймається основне положення теорії термопружності, яке полягає в тому, що повна деформація дорівнює сумі пружної і температурної деформацій (співвідношення Дюамеля-Неймана). Діюче на оболонку температурне поле таке, що вона деформується зі збереженням осової симетрії.

У цьому випадку деформування описується такою нелінійною системою шести звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned}
 \frac{du_x}{ds} &= \cos \varphi \varepsilon_s - \sin \varphi \vartheta_s - \frac{1}{2} \cos \varphi \vartheta_s^2, \\
 \frac{du_z}{ds} &= \sin \varphi \varepsilon_s + \cos \varphi \vartheta_s - \frac{1}{2} \sin \varphi \vartheta_s^2, \\
 \frac{d\vartheta_s}{ds} &= \kappa_s \\
 \frac{dN_x}{ds} &= \frac{1}{r} N_\theta - \frac{\cos \varphi}{r} N_x, \\
 \frac{dN_z}{ds} &= -\frac{\cos \varphi}{r} N_z, \\
 \frac{dM_s}{ds} &= N_x \sin \varphi - N_z \cos \varphi - \frac{\cos \varphi}{r} (M_s - M_\theta) + N_s \vartheta_s - \frac{\sin \varphi}{r} M_\theta \vartheta_s \\
 &\quad (s_0 \leq s \leq s_n).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Недеформована поверхня приведення віднесена до криволінійної ортогональної системи координат s, θ , де s – довжина дуги твірної, а θ – центральний кут в паралельному крузі. Координата ζ відраховується по нормалі до поверхні приведення. Тут u_x, u_z, ϑ_s – радіальне і осьове переміщення та кут повороту, а N_x, N_z, M_s – радіальне і осьове зусилля та згинальний момент;

$$\varepsilon_s = d_{11}N_s + d_{13}M_s + d_{14}\varepsilon_0 + d_{15}\kappa_\theta + d_{11}N_{sT} + d_{13}M_{sT},$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{u_x}{r}, \quad \kappa_\theta = \frac{\cos \varphi}{r} \vartheta_s - \frac{\sin \varphi}{2r} \vartheta_s^2,$$

$$\kappa_s = d_{13}N_s + d_{33}M_s + d_{34}\varepsilon_\theta + d_{35}\kappa_\theta + d_{13}N_{sT} + d_{33}M_{sT},$$

$$N_s = N_x \cos \varphi + N_z \sin \varphi \quad u = u_x \cos \varphi + u_z \sin \varphi \quad w = u_x \sin \varphi - u_z \cos \varphi,$$

$$N_\theta = -(d_{14}N_s + d_{34}M_s) + d_{44}\varepsilon_\theta + d_{45}\kappa_\theta - (d_{14}N_{sT} + d_{34}M_{sT} + N_{\theta T}),$$

$$M_\theta = -(d_{15}N_x + d_{35}M_s) + d_{54}\varepsilon_\theta + d_{55}\kappa_\theta - (d_{15}N_{sT} + d_{35}M_{sT} + M_{\theta T}),$$

$$N_{sT} = \sum_{i=1}^2 \int_{\gamma_{i-1}}^{\gamma_i} (B_{11}^{(i)} + B_{12}^{(i)}) \alpha^{(i)} T d\zeta; \quad N_{\theta T} = \sum_{i=1}^2 \int_{\gamma_{i-1}}^{\gamma_i} (B_{12}^{(i)} + B_{22}^{(i)}) \alpha^{(i)} T d\zeta;$$

$$M_{sT} = \sum_{i=1}^2 \int_{\gamma_{i-1}}^{\gamma_i} (B_{11}^{(i)} + B_{12}^{(i)}) \alpha^{(i)} T \zeta d\zeta; \quad M_{\theta T} = \sum_{i=1}^2 \int_{\gamma_{i-1}}^{\gamma_i} (B_{12}^{(i)} + B_{22}^{(i)}) \alpha^{(i)} T \zeta d\zeta;$$

де $T = T(s, \zeta)$ – розподіл приросту температури в оболонці відносно початкової температури, при якій відсутні температурні напруження, а $\alpha^{(i)}$ – коефіцієнт лінійного теплового розширення матеріалу i -го шару.

Коефіцієнти C_{mp} , K_{mp} , D_{mp} визначаються за формулами:

$$C_{mp} = \sum_{i=1}^2 \int_{\gamma_{i-1}}^{\gamma_i} B_{mp}^{(i)} d\zeta, \quad K_{mp} = \sum_{i=1}^2 \int_{\gamma_{i-1}}^{\gamma_i} B_{mp}^{(i)} \zeta d\zeta, \quad D_{mp} = \sum_{i=1}^2 \int_{\gamma_{i-1}}^{\gamma_i} B_{mp}^{(i)} \zeta^2 d\zeta \quad (m, p = 1, 2, 6),$$

а величини $B_{mp}^{(i)}$ для i -го шару оболонки приймають значення:

$$B_{11}^{(i)} = \frac{E^{(i)}}{1-\nu^{(i)2}}, \quad B_{12}^{(i)} = \nu^{(i)} B_{11}^{(i)}, \quad B_{22}^{(i)} = \frac{E^{(i)}}{1-\nu^{(i)2}}, \quad B_{66}^{(i)} = G_{s\theta}^{(i)}.$$

де $E^{(i)}$ – модуль пружності, $\nu^{(i)}$ – коефіцієнт Пуассона, $G_{s\theta}^{(i)}$ – модуль зсуву матеріалу i -го шару, а величини d_{ij} визначаються за формулами:

$$d_{11} = \frac{\delta}{\Delta}, \quad d_{13} = \frac{\delta_3}{\Delta}, \quad d_{14} = \frac{1}{\Delta} (-C_{12}\delta_1 + C_{26}^*\delta_2 - K_{12}\delta_3), \quad d_{15} = \frac{1}{\Delta} (-K_{12}\delta_1 + K_{26}^*\delta_2 - D_{12}\delta_3),$$

$$d_{33} = \frac{\delta_3}{\Delta}, \quad d_{34} = \frac{1}{\Delta} (-C_{12}\delta_3 + C_{26}^*\delta_6 - K_{12}\delta_9),$$

$$d_{35} = \frac{1}{\Delta} (-K_{12}\delta_3 + K_{26}^*\delta_6 - D_{12}\delta_9),$$

$$d_{44} = C_{22} + C_{12}d_{14} + C_{26}^*d_{24} + K_{12}d_{34},$$

$$d_{54} = K_{22} + K_{12}d_{14} + K_{26}^*d_{24} + D_{12}d_{34},$$

$$d_{55} = D_{22} + K_{12}d_{15} + K_{26}^*d_{25} + D_{12}d_{35},$$

$$\{C_{26}^*, K_{26}^*\} = \{C_{26}, K_{26}\} + \frac{2\sin\varphi}{r} \{K_{26}, D_{26}\},$$

$$C_{66}^* = C_{66} + \frac{4\sin\varphi}{r} K_{66} + \frac{4\sin^2\varphi}{r^2} D_{66},$$

$$\Delta = C_{11}C_{66}^*D_{11} + C_{16}^*K_{16}^*K_{11} + C_{16}^*K_{16}^*K_{11} - K_{11}^2C_{66}^* - C_{11}K_{16}^{*2} - D_{11}C_{16}^{*2},$$

$$\delta_1 = C_{66}^*D_{11} - K_{16}^{*2}, \quad \delta_2 = C_{16}^*D_{11} - K_{16}^*K_{11}, \quad \delta_3 = C_{16}^*K_{16}^* - C_{66}^*K_{11},$$

$$\delta_6 = C_{11}K_{16}^* - C_{16}^*K_{11}, \quad \delta_9 = C_{11}C_{66}^* - C_{16}^{*2}$$

Якщо ввести вектор $\bar{N} = \{u_x, u_z, \vartheta_s, N_x, N_z, M_s\}$, то розв'язувальну систему рівнянь (1) можна записати у вигляді:

$$\frac{d\bar{N}}{ds} = \bar{F}(s, \bar{N}, T), \quad (2)$$

де $\bar{N} = \{u_x, u_z, \vartheta_s, N_x, N_z, M_s\}^T$ – шуканий вектор, \bar{F} – нелінійна вектор-функція.

При формулюванні крайової задачі для системи (2) на кожному контурі потрібно задати по три крайові умови:

$$\bar{g}_1(\bar{N}(s_0)) = 0, \quad \bar{g}_2(\bar{N}(s_N)) = 0 \quad (3)$$

Крайова задача (2), (3) розв'язується чисельно за допомогою методу лінеаризації і методу дискретної ортогоналізації [4].

За допомогою викладеного підходу проведено дослідження нелінійного деформування біметалічних оболонок обертання сталої товщини h в рівномірному температурному полі $T = T_0 = const$. Розглянуто дві оболонки (рис.1) :

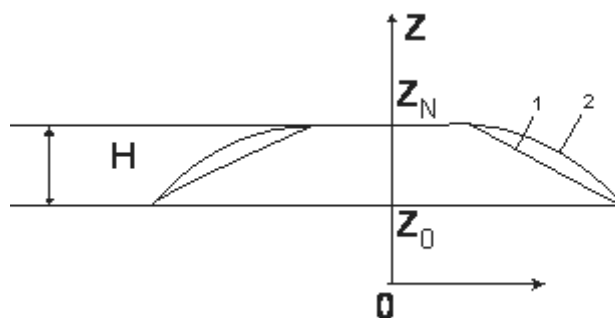


Рис. 1. Геометрія біметалічних оболонок

конічну ($r = a + bz, z = z$) і параболоїд обертання ($r = c\sqrt{d-z}; z = z$). Оболонки однакові в плані і мають однакову висоту H . Внутрішній активний шар оболонок товщиною h_1 виготовлений з хромонікелевої сталі з такими термомеханічними характеристиками $E^{(1)}, \nu^{(1)}, \alpha^{(1)}$, а зовнішній інертний шар товщиною h_2 – з інвара з відповідними характеристиками $E^{(2)}, \nu^{(2)}, \alpha^{(2)}$. Конттури меншого радіуса $z = z_N$ вільні, а опорні конттури $z = z_0$ шарнірні, тобто крайові умови можна записати у вигляді:

$$N_s = M_s = w = 0 \quad \text{при} \quad z = z_0;$$

$$N_x = N_z = M_s = 0 \quad \text{при} \quad z = z_N,$$

де N_s – тангенціальне зусилля, а w – прогин. За поверхню приведення вибрана внутрішня поверхня оболонок.

В розрахунках параметри приймають такі значення:

$$z_0 = 0,9 \text{ см}, \quad z_N = 0,96 \text{ см}, \quad h_1 = 0,012 \text{ см}, \quad h_2 = 0,008 \text{ см}, \quad h = h_1 + h_2 = 0,02 \text{ см},$$

$$E^{(1)} = 1,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \quad E^{(2)} = 1,08 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \quad \nu^{(1)} = \nu^{(2)} = 0,28, \quad \alpha^{(1)} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C},$$

$$\alpha^{(2)} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}, \quad T_K = 20^\circ\text{C}, \quad a = 27,74, \quad b = -25,98, \quad c = 13,64, \quad d = 1,002.$$

Однією з важливих характеристик деформування біметалічних оболонок є осьове переміщення вільного контуру. На рис. 2 суцільними лініями наведено

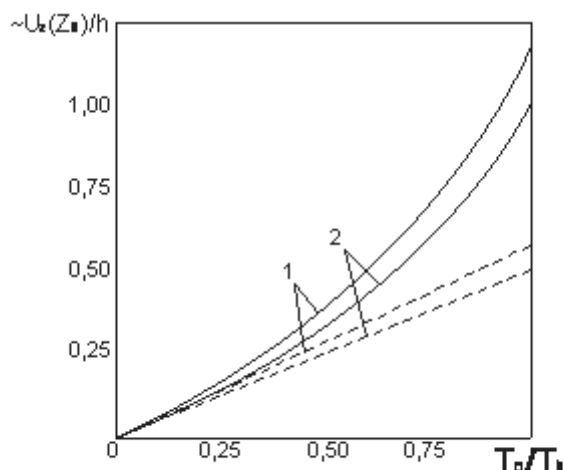


Рис. 2. Залежності осевого переміщення вільного контуру від температурного поля

залежність осевого переміщення контуру меншого радіуса $z = z_N$ від приросту температури T_0 . При покроковому збільшенні температури за початкове наближення використовується розв'язок на попередньому кроці. Цифрою 1 позначено процес деформування конічної оболонки, а цифрою 2 – параболоїда обертаня. Штриховими лініями показано відповідні результати у разі використання лінійної теорії. Видно, що для розглянутих типів оболонок лінійна теорія дає занижені значення осевих переміщень. Згин відбувається в сторону активного внутрішнього шару. При подальшому зростанні T_0 обчислювальний процес починає розбігатися, що свідчить про існування в інтервалі $1 < \frac{T_0}{T_K} < 1,25$ граничних точок.

Видно, що врахування геометричної нелінійності суттєво впливає на результати розрахунків. Так при $T_0/T_K = 1$ результати, отримані по двох теоріях для конічної і параболічної оболонок, розрізняються приблизно на 50%.

На рис. 3 наведено розподіли осьових переміщень конічної (цифра 1) і

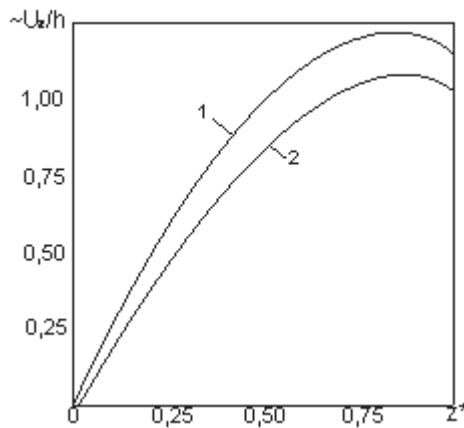


Рис. 3. Розподіл осьового переміщення вільного контуру оболонок вздовж осі обертання

параболічної (цифра 2) оболонок вздовж осьової координати $z(z^* = (z - z_0)/(z_N - z_0))$ при $T_0/T_K = 1$. Видно, що конічна оболонка більш гнучка, ніж параболічна і найбільших значень ці переміщення досягають не на вільному контурі, а на деякій відстані від нього.

Таким чином, запропонований підхід дозволяє ефективно шукати раціональні форми біметалічних оболонок обертання в широкому діапазоні змінювання їх параметрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Панов Д.Ю. Об устойчивости биметаллической оболочки при нагреве // Прикл. математика и механика. – 1947. – Т. 11. – В. 6. – С. 603-610.
2. Григолюк Э.И. Тонкие биметаллические пластинки и оболочки // Инж. сб. – 1953. – Т. 17. – С. 177-200.
3. Liu Ren-Huai. Non-Linear thermal stability of bimetallic shallow shells of revolution // Int. J. Non-Linear Mechanics. – 1983. – 18. – NS. – p. 409-429.
4. Григоренко Я.М., Крюков Н.Н. Численное решение задач статики гибких слоистых оболочек с переменными параметрами. – К.: Наук. думка, 1988. – 264с.

УДК 517.938: 531.53

*Леонід Лобас
Людмила Лобас
Тетяна Лупіна*

**ВПЛИВ АСИМЕТРІЇ СЛІДКУВАЛЬНОЇ СИЛИ
НА РУХ ПЕРЕВЕРНУТОГО ПОДВІЙНОГО
МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА**

В роботі розглянуто рух перевернутого подвійного математичного маятника під дією слідкувальної сили з асиметрією.

В работе рассмотрено движение перевернутого двойного математического маятника под действием ассиметричной следящей силы.

The differential equations of motion are obtained for an inverted double mathematical pendulum with elastic and support and asymmetric follower force. The pendulum has viscoelastic hinges and two degrees of freedom.

Ключові слова: слідкувальна сила, математична модель, диференціальні рівняння, рух, подвійний маятник, пружне закріплення.

Робота [1] спричинила потік досліджень впливу неконсервативних позиційних сил на поведінку динамічних систем, які зазнають дії інерційних, дисипативних, гіроскопічних та потенціальних сил. Принципово важливими є [2 – 8]. В [9, 10], де досліджено локальні і глобальні біфуркації подвійного маятника за наявності асиметрії слідкувальної сили і з'єднувальних пружин. Основну увагу приділено околу подвійного нульового власного значення матриці лінеаризації.

Мета даної роботи – побудувати математичну модель, яка дозволила б за допомогою поєднання аналітичних методів і комп'ютерних засобів дослідити весь простір суттєвих параметрів і фазовий простір перевернутого дволанкового математичного маятника з асиметричною слідкувальною силою на пружно закріпленому верхньому кінці. Асиметрія полягає в тому, що слідкувальна сила утворює з вертикаллю кут, одна складова якого постійна, а друга пропорційна куту відхилення від вертикалі верхньої ланки маятника.

Нехай m_1 і m_2 – маси матеріальних точок $A_1(x_1, y_1)$ і $A_2(x_2, y_2)$; ланки $OA_1 = l_1$ і $A_1A_2 = l_2$ невагомі; μ_1 – коефіцієнт в'язкості в нижньому шарнірі O , який враховує дію зовнішнього тертя; μ_2 – коефіцієнт в'язкості в проміжному шарнірі A_1 , який відображує вплив внутрішнього тертя в системі, \tilde{n} – жорсткість пружного

© Лобас Л. Г., Лобас Л. Г., Лупіна Т. О., 2011

закріплення верхнього кінця; \tilde{n}_1, c_2 – жорсткості спіральних пружин в шарнірах O і A_1 відповідно; $\delta = const$; $\alpha = \delta + k\varphi_2$ – кут між вертикаллю і слідкувальною силою \vec{P} .

Приймемо, що у вертикальному положенні ланок ($\varphi_1 = 0, \varphi_2 = 0$) горизонтальна пружина (рис.1) недеформована. При відхиленні ланок від вертикалі виникає відновлювальна пружна сила $\vec{Q}_c = -\vec{j}Q_c$, $Q_c = c y_2$. Оскільки

$$\begin{aligned} x_1 &= l_1 \cos \varphi_1, \quad y_1 = l_1 \sin \varphi_1, \\ x_2 &= l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2, \quad y_2 = l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2, \end{aligned}$$

то

$$Q_c = c(l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2).$$

Моменти пружно-дисипативних в'язей в шарнірних з'єднаннях визначаються співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \vec{M}_1 &= -\vec{k}M_1, & \vec{M}_2 &= -\vec{k}M_2, \\ M_1 &= c_1\varphi_1 + \mu_1\dot{\varphi}_1, & M_2 &= c_2(\varphi_2 - \varphi_1) + \mu_2(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1). \end{aligned} \quad (1)$$

Можливий інший спосіб відліку складових δ і $k\varphi_2$ кута α , який показано на рис. 2. Нехай A_α – матриця повороту на кут α . З комутативності поворотів випливає

$$A_\alpha = A_\delta A_{k\varphi_2} = A_{k\varphi_2} A_\delta,$$

тобто способи відліку кутів $k\varphi_2$ і δ , які показані на рис. 1 і 2, не впливають на остаточні рівняння руху маятника. Відзначимо лише, що при $\delta = 0, k = 1$ слідкувальна

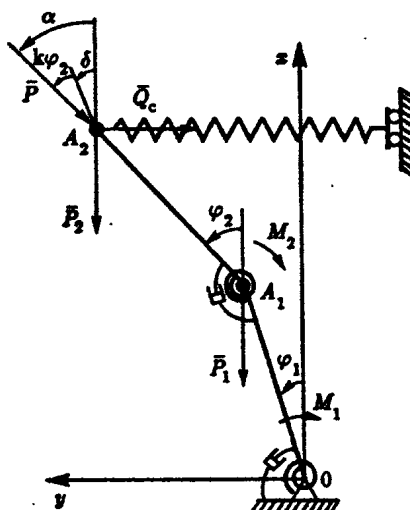


Рис. 1. Розрахункова схема маятника

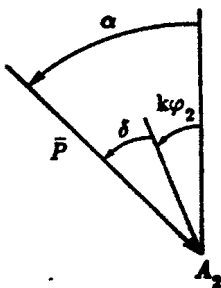


Рис. 2 Складові кута α

сила \vec{P} направлена вздовж верхньої ланки A_2A_1 , а при $\delta = \pi/2, k=1$ вона перпендикулярна до цієї ланки.

Узагальненими координатами маятника є кути φ_1, φ_2 відхилення ланок маятника від вертикалі, для знаходження яких залежно від часу складемо диференціальні рівняння Лагранжа другого роду:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i} - \frac{\partial T}{\partial \varphi_i} = Q_i \quad (i=1,2), \quad (2)$$

де

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_{1g} + Q_{1c} + Q_{1p} - M_1 + M_2, \\ Q_2 &= Q_{2g} + Q_{2c} + Q_{2p} - M_2. \end{aligned} \quad (3)$$

Тут Q_{ig} – складові узагальнених сил, породжені силами ваги $\vec{P}_1 = -\vec{i}P_1, \vec{P}_2 = -\vec{i}P_2$, $P_1 = m_1g, P_2 = m_2g$; Q_{ip} – складові узагальнених сил від слідкувальної сили \vec{P} ; Q_{ic} – складові, викликані пружним закріпленням верхньої ланки маятника (горизонтальною пружиною жорсткості \tilde{n}); I_i – алгебраїчні моменти в пружно-в'язких шарнірах при відхиленнях ланок маятника від вертикалі.

Узагальнені сили Q_{1g}, Q_{2g} знайдемо із загальної формули:

$$\begin{aligned} Q_{ig} &= \sum_{s=1}^N \vec{F}_s \cdot \frac{\partial \vec{r}_s}{\partial q_i} = \sum_{s=1}^N (X_s \frac{\partial x_s}{\partial q_i} + Y_s \frac{\partial y_s}{\partial q_i} + Z_s \frac{\partial z_s}{\partial q_i}), \\ Q_{1g} &= (m_1 + m_2)gl_1 \sin \varphi_1, \quad Q_{2g} = m_2gl_2 \sin \varphi_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Віртуальна робота відновлювальної сили \vec{Q}_c визначається за формулою $\delta A_c = -Q_c \delta y_c$, звідки

$$\begin{aligned} Q_{1c} &= -cl_1(l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2) \cos \varphi_1, \\ Q_{2c} &= -cl_2(l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2) \cos \varphi_2. \end{aligned} \quad (5)$$

Знайдемо складові узагальнених сил, викликані слідкувальною силою \vec{P} . Маємо

$$\begin{aligned} \vec{P} &= -\vec{i}P \cos \alpha - \vec{j}P \sin \alpha, \quad \delta A_p = -P \cos \alpha \cdot \delta x_2 - P \sin \alpha \cdot \delta y_2, \\ Q_{1P} &= Pl_1 \sin(\varphi_1 - k\varphi_2 - \delta), \quad Q_{2P} = Pl_2 \sin[(1-k)\varphi_2 - \delta]. \end{aligned} \quad (6)$$

Кінетична енергія точок A_1 і A_2 визначається виразом:

$$\begin{aligned} T &= \frac{m_1}{2}(\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2) + \frac{m_2}{2}(\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2) = \frac{m_1 + m_2}{2}l_1^2\dot{\varphi}_1^2 + \frac{m_2}{2}l_2^2\dot{\varphi}_2^2 + \\ &+ m_2l_1l_2\dot{\varphi}_1\dot{\varphi}_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2). \end{aligned} \quad (7)$$

На підставі виразів (1), (3) – (7) із формули (2) одержуємо такі диференціальні рівняння руху маятника:

$$\begin{aligned} &(m_1 + m_2)l_1^2\ddot{\varphi}_1 + m_2l_1l_2\ddot{\varphi}_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + m_2l_1l_2\dot{\varphi}_2^2 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) - \\ &- (m_1 + m_2)gl_1 \sin \varphi_1 + cl_1(l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2) \cos \varphi_1 + (c_1 + c_2)\varphi_1 - \\ &- c_2\varphi_2 + (\mu_1 + \mu_2)\dot{\varphi}_1 - \mu_1^2\dot{\varphi}_2 - P \sin(\varphi_1 - k\varphi_2 - \delta) = 0, \\ &m_2l_2^2\ddot{\varphi}_2 + m_2l_1l_2\ddot{\varphi}_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) - m_2l_1l_2\dot{\varphi}_1^2 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) - m_2gl_2 \sin \varphi_2 + \\ &+ cl_2(l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2) \cos \varphi_2 - c_2(\varphi_1 - \varphi_2) - \mu_2(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - Pl_2 \sin[(1-k)\varphi_2 - \delta] = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Якщо $\delta \neq 0$, то внаслідок членів $\cos(\varphi_1 - k\varphi_2)$, $\cos(1-k)\varphi_2$ маятник не належить до динамічних систем з центральною симетрією, тобто до динамічних систем з непарною правою частиною. Це впливає з того, що система (8) рівносильна системі $\dot{x} = f(x)$, $x \in R^4$, в якій $f(-x) \neq -f(x)$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ziegler H. Die Stabilitätskriterien der Elastomechanik // Ingenieur – Archiv. – 1952. – **20**, № 1. – S.49-56.
2. Ziegler H. Linear elastic stability // ZAMP. – 1953. – **4**, № 2. – S. 89-121; № 3. – S.167-185.
3. Hermann G., Jong I.-C. On the destabilizing effect of damping in nonconservative elastic system // Trans. ASME. Ser. E.J.Appl. mech. – 1965. – **E32**, № 2. – P. 592-597.
4. Hagedorn P. On the destabilizing effect of non-linear damping in nonconservative systems with follower forces // Int. J. Non-Linear Mech. – 1970. – **5**, № 2. – P. 341-358.
5. Пановко Я.Г., Сорокин С.В. О квазиустойчивости упруговязких систем со следящими силами // Изв. АН СССР. Механика тв. тела – 1987. – № 5. – С. 135-139.
6. Troger H., Steindl. Non-linear stability and bifurcation theory. – Wien; New Jork: Springer, 1991. – 408 p.
7. Жинджер Н.И. Влияние диссипативных сил с неполной диссипацией на устойчивость упругих систем // Изв. РАН. Механика тв. тела. – 1994. – № 1. – С. 149-155.
8. Сейранян А.П. О стабилизации неконсервативных систем диссипативными силами и неопределенности критической загрузки // Докл. АН. – 1996. – **348**, № 3. – С. 323-326.
9. Jin J.-D., Matsuzaki Y. Bifurcations in a two-degree-of-freedom elastic system with follower forces // J. Sound and Vibr. – 1988. – **126**, № 2. – P. 265-277.
10. Matsuzaki Y., Futura S. Condimension three bifurcation of a double pendulum subjected to a follower forces with imperfection // AIAA Dyn. Spec. Conf., Long Beach, Calif., Apr.5-6, 1990. – Collect. Techn. Pap. – Washington (D.C.), 1990. – P. 387-394.

УДК 517.933

Геннадій Пугачов

**ВІЛЬНІ КОЛИВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З ДВОМА
СТЕПЕНЯМИ ВІЛЬНОСТІ ПРИ РОЗГЛЯДІ ЗАДАЧ ДИНАМІКИ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Механічні коливальні системи з двома степенями свободи займають значне місце в практичних розрахунках характеристик транспортних засобів і досить широко представлені в підручниках і монографіях. Це значною мірою належить до розрахунку вимушених коливань. Тим часом, прийнятий авторами аналітичний апарат для вільних коливань системи з двома степенями свободи при непрозорому відношенні з початковими умовами процесу не дозволяє проводити практичні обчислення. Стаття присвячена розгляду математичного аспекту указанного виду коливань з урахуванням початкових умов процесу.

Механические колебательные системы с двумя степенями свободы занимают значительное место в практических расчетах характеристик транспортных средств и достаточно широко представлены в учебниках и монографиях. Это в наибольшей степени относится к расчету вынужденных колебаний. Между тем, принятый авторами аналитический апарат для свободных колебаний системы с двумя степенями свободы при непрозрачном отношении с начальными условиями процесса не позволяет проводить практические вычисления. Статья посвящена рассмотрению математического аспекта указанного вида колебаний с учетом начальных условий процесса.

The mechanical oscillating systems with two degrees of freedom are of significance in practical calculations of the transport characteristics and are available in textbooks and monographs. It is to a great extent practical as to the calculation of the forced vibrations. Meantime, analytical method that is widely used in calculation of free vibrations of the system with two degrees of freedom under uncertain initial data is unsuitable for practical calculations. The mathematical aspect of above type of vibrations with initial conditions of the process is discussed in the paper.

Ключові слова: частота коливань, головна частота коливань, початкові умови процесу.

© Пугачов Г. С., 2011

Постановка проблеми

Механічні коливальні системи з двома степенями вільності займають відповідне місце в практичних розрахунках дисциплін, пов'язаних із динамікою транспортних засобів. Вони знайшли відповідне місце в підручниках, наприклад [1], і в класичних монографіях, наприклад [2], а потім були розповсюджені і в інших виданнях. Між тим, математичний апарат для розрахунків в згаданих джерелах має суттєві недоліки, що не дозволяють отримати практичні результати розрахунків. В цьому знаходять відображення некоректності приведені теоретичної розробки теми.

Аналіз стану проблеми

Приймаючи загальне рішення для коливальної системи у формі, приведеній в роботі [1], для поточних координат x_1 і x_2 , маємо:

$$x_1 = A_1 \sin(p_1 t + \alpha) + A_2 \sin(p_2 t + \alpha); \tag{a}$$

$$x_2 = B_1 \sin(p_1 t + \alpha) + B_2 \sin(p_2 t + \alpha), \tag{b}$$

де p_1 і p_2 – головні частоти коливань, α – початкова фаза процесу; A_1 ; A_2 ; B_1 ; B_2 – сталі процесу, визначення яких проводиться за початковими умовами процесу (на момент часу $t = 0$):

$$\begin{aligned} (A_1 + A_2) \cdot \sin \alpha &= x_{10}, \\ (B_1 + B_2) \cdot \sin \alpha &= x_{20}, \\ (p_1 \cdot A_1 + p_2 \cdot A_2) \cdot \cos \alpha &= \dot{x}_{10}, \\ (p_1 \cdot B_1 + p_2 \cdot B_2) \cdot \cos \alpha &= \dot{x}_{20}. \end{aligned} \tag{c}$$

Система приведених відношень є невизначеною через зневажливе ставлення автора до поняття початкової фази процесу, як до чогось другорядного і зрозумілого за визначенням. Між тим, загальний вираз для визначення початкової фази через початкові умови процесу має вигляд:

$$\alpha = \arctg \frac{\dot{x}_0}{p \cdot x_0},$$

де $\tilde{\delta}_{10}$ і $\tilde{\delta}_{10}$ – координата і швидкість відповідної маси на момент $t=0$;

p – кутова частота процесу.

Тобто, за наявності двох мас і чотирьох значень початкових координат і швидкостей для двох значень головних частот у загальному випадку ми маємо чотири значення початкових фаз коливань, а не одну, як це вживано у співвідношеннях (с).

Некоректність математичних рішень стосується навіть таких авторитетних джерел, як [2], про що мова йтиме в основному матеріалі статті.

Постановка завдання

Розглянемо систему з двома степенями свободи, зображену на рис. 1, і визначимо основні відношення процесу для загальних параметрів коливальної системи, що дозволить проводити розрахунки при будь-яких початкових умовах.

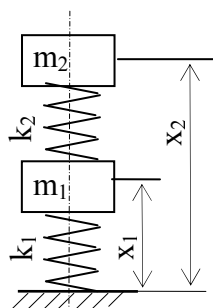


Рис. 1. Коливальна система

Основний матеріал

Рівняння рівноваги приведеної системи під дією пружних сил і сил інерції має вигляд:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= -k_1 x_1 + k_2 (x_2 - x_1); \\ m_2 \ddot{x}_2 &= -k_2 (x_2 - x_1). \end{aligned} \quad (1)$$

Для спрощення запису введемо позначення:

$$\frac{k_1 + k_2}{m_1} = a, \quad \frac{k_2}{m_1} = b, \quad \frac{k_2}{m_2} = c, \quad (2)$$

з урахуванням яких рівняння (1) приймають вид:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 + ax_1 - bx_2 &= 0; \\ \ddot{x}_2 - cx_1 + cx_2 &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Приймаючи приватні рішення у формі

$$x = A \cdot \cos(pt - \alpha),$$

значимо, що для кожної з мас будуть свої початкові умови і своє значення початкової фази коливань α_i , тобто форма приватних рішень має бути такою:

$$\begin{aligned} x_1 &= A \cdot \cos(pt - \alpha); \\ x_2 &= B \cdot \cos(pt - \beta). \end{aligned} \quad (4)$$

Саме цим і відрізняється запропоноване рішення від рішень, приведених у роботах [1, 2].

Підстановка форм (4) у рівняння (3) приводить до алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{aligned} A \cdot (a - p^2) \cdot \cos(pt - \alpha) - B \cdot b \cdot \cos(pt - \beta) &= 0; \\ -A \cdot c \cdot \cos(pt - \alpha) + B \cdot (c - p^2) \cdot \cos(pt - \beta) &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Окрім очевидних значень коефіцієнтів, задовольняючих систему у стані спокою ($A=B=0$), їх значення, відмінні від нульових, можуть бути лише у разі, коли визначник системи буде дорівнювати нулю.

Розкривши визначник після скорочень, отримаємо:

$$\begin{aligned} (a - p^2)(c - p^2) - bc &= 0, \\ \text{або} \\ p^4 - (a + c)p^2 - c(a - b) &= 0. \end{aligned}$$

Це частотне рівняння має два дійсних і позитивних значення частот для двох головних форм коливального процесу:

$$p_{1,2}^2 = \frac{a + c}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{a - c}{2}\right)^2 + b \cdot c}. \quad (6)$$

Відношення (5) дають можливість визначити співвідношення коефіцієнтів для кожної форми коливань:

$$\frac{A_1}{B_1} = \frac{b \cdot \cos(p_1 t - \beta_1)}{(a - p^2) \cdot \cos(p_1 t - \alpha_1)} = \frac{1}{\lambda_1}; \quad (7)$$

$$\frac{A_2}{B_2} = \frac{b \cdot \cos(p_2 t - \beta_2)}{(a - p^2) \cdot \cos(p_2 t - \alpha_2)} = \frac{1}{\lambda_2}. \quad (8)$$

Ці відношення є постійними для процесу з заданими початковими умовами, згідно з якими визначаються початкові фази коливального процесу:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{\dot{x}_{10}}{p_1 \cdot x_{10}}; \quad (9)$$

$$\alpha_2 = \arctg \frac{\dot{x}_{10}}{p_2 \cdot x_{10}}; \quad (10)$$

$$\beta_1 = \arctg \frac{\dot{x}_{20}}{p_1 \cdot x_{20}}; \quad (11)$$

$$\beta_2 = \arctg \frac{\dot{x}_{20}}{p_2 \cdot x_{20}}. \quad (12)$$

Приватні рішення для кожної з форм процесу мають вигляд:

$$x_1^{(1)} = A_1 \cdot \cos(p_1 t - \alpha_1);$$

$$x_2^{(1)} = \lambda_1 \cdot A_1 \cdot \cos(p_1 t - \beta_1);$$

$$x_1^{(2)} = B_2 \cdot \cos(p_2 t - \alpha_2);$$

$$x_2^{(2)} = \lambda_2 \cdot B_2 \cdot \cos(p_2 t - \beta_2).$$

Загальне рішення отримаємо, об'єднуючи приватні:

$$x_1 = x_1^{(1)} + x_1^{(2)} = A_1 \cdot \cos(p_1 t - \alpha_1) + B_2 \cdot \cos(p_2 t - \alpha_2); \quad (13)$$

$$x_2 = x_2^{(1)} + x_2^{(2)} = \lambda_1 \cdot A_1 \cdot \cos(p_1 t - \beta_1) + \lambda_2 \cdot B_2 \cdot \cos(p_2 t - \beta_2); \quad (14)$$

Отримані рівняння показують, що в загальному випадку маси розглянутої системи здійснюють складний рух, що не є періодичним, якщо головні частоти випадково не опинились сумірними. Коливання будуть чисто гармонічними лише у тому разі, коли початкові умови визначають для неї одну з головних форм коливань.

Висновки

Вищенаведені аналітичні визначення щодо вільних коливань двомасової системи використані в теоретичному курсі дисципліни «Конструювання та динаміка електрорухомого складу», а в практичному курсі дисципліни дають змогу проводити розрахунки параметрів системи для заданих початкових умов. На підставі викладеного в даній статті матеріалу були розроблені облікові програми, що використовуються у навчальному процесі.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Веріго М. Ф.* Динамика вагонов. Конспект лекцій. – М.: ВЗИИТ, 1971. – 176 с.
2. *Тимошенко С. П.* Колебания в инженерном деле. – М.: Физматгиз, 1969. – 439 с.

УДК 681.325

Ірина Калинюк

**МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕКОНФІГУРУВАЛЬНИХ
ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОНТРОЛЕРІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

Удосконалено методи організації реконфігуровувальних обчислювальних контролерів на базі програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) за рахунок введення нового критерію якості. Запропонований метод може бути основою для аналізу й синтезу реконфігуровувальних обчислювальних пристроїв.

Усовершенствованы методы организации реконфигуруемых вычислительных контролеров на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) за счет введения нового критерия качества. Предложенный метод может быть основой для анализа и синтеза реконфигуруемых вычислительных устройств.

An offered the method of organization of computing reconfigurable controller structure on the basis of programmable logic device (PLD) is improved at the expense of introduction of new index of quality. The offered method can be basis for an analysis and synthesis of reconfigurability computing devices.

Ключові слова: реконфігуровувальний, обчислювальний контролер, програмовані логічно інтегральні схеми (ПЛІС), паралельна архітектур, синтез.

Актуальність. На сьогодні обчислювальні пристрої із реконфігурованою апаратною структурою широко використовують у системах реального часу, в яких часто необхідно змінювати алгоритм функціонування системи. При цьому реалізація таких систем на базі універсальних обчислювальних засобів (процесорів, контролерів), які допускають можливість віддаленого перепрограмування в режимі on-line, не завжди можлива через складність самих алгоритмів опрацювання даних, що не допускає їх програмну реалізацію в реальному часі.

Реконфігурованість структури обчислювального пристрою є обов'язковою умовою при створенні складних систем, які повинні мати високу надійність, гнучкість й адаптацію до розв'язування завдань. На даний час виконуються наукові дослідження і практичні розробки в області реконфігуровувальних обчислювальних пристроїв з перспективною елементною базою (зокрема, ПЛІС), які покликані задовольнити вимоги високопродуктивних пристроїв обробки даних, цифрової обробки сигналів, підтримки телекомунікацій, сполучення комплексів і систем і т.д.

© *Калинюк І. О., 2011*

Елементною базою для створення таких пристроїв є програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС) [1], що дозволяє створювати на їх базі обчислювальні та керуючі пристрої, апаратна структура яких якнайкраще налаштована на реалізацію необхідного алгоритму. В цілому це дозволяє отримати більш ефективний пристрій порівняно із рішеннями на базі універсальних обчислювальних засобів.

При створенні систем керування швидкоплинними технологічними процесами особливе значення мають питання, пов'язані із забезпеченням надійності їхнього функціонування, що реалізується на основі діагностування несправностей електронного устаткування в процесі роботи як у каналах введення-виведення інформації, так і в паралельній архітектурі логічних контролерів. Аналіз структурної організації паралельних логічних контролерів, що забезпечують керування технологічними процесами, довів, що основу їхньої архітектури становлять матричні процесори, блоки пам'яті, схеми порівняння й пристрою логічного керування. Загальний підхід організації складається в забезпеченні реконфігурування архітектури у вигляді еквівалентного обчислювального середовища, за допомогою якої здійснюється сканування діагностичної інформації й передача її на спостережувані виходи. Завдяки цьому при проектуванні й відповідно експлуатації паралельних логічних контролерів рішення проблеми тестового діагностування зводиться до синтезу тестоздатної обчислювальної архітектури з урахуванням особливостей дефектів і несправностей.

Мета. Вдосконалення відомих методів організації структурного синтезу обчислювальних пристроїв із реконфігурованою структурою на базі ПЛІС, у складі яких присутні процесорні ядра, а також його подальша адаптація для розв'язання задачі структурного синтезу контролерів у реконфігуровувальних обчислювальних системах на базі ПЛІС.

Методи організації реконфігуровувальних обчислювальних контролерів і інформаційних технологій. Швидкий розвиток сучасних інтегральних технологій виготовлення надвеликих інтегральних схем і замовлених програмованих логічних інтегральних схем високого рівня інтеграції відкрило можливість поставити питання синтезу нового класу мікроконтролерів з паралельною архітектурою і можливістю її реконфігурації програмним способом [2]. Відмінною особливістю таких мікроконтролерів є те, що обчислювальна структура їх організується із сукупності паралельних обчислювальних блоків матричного типу і не є фіксованою, а змінюється залежно від створеного алгоритму. В подібних обчислювальних структурах з програмованою архітектурою фіксується обчислювальне поле заданої розмірності сконструйоване спеціально для виконання конкретного заданого алгоритму. У тому разі, коли алгоритм достатньо складний, то він в обчислювальному полі може бути поданий у вигляді послідовності його частин. Можлива також організація обчислювального процесу в мікропроцесорних контролерах з програмованою архітектурою на основі конвеєрної реалізації алгоритмів керування електроенергетичними об'єктами. В загальному вигляді, реалізація такого класу обчислювальних архітектур з можливістю реконфігурації, що змінюється програмним способом, може бути представлена таким чином. Архітектура мікропроцесорного контролера може бути описана як (1) відповідно до [3]:

$$D = \langle O, G, \mu \rangle \quad (1)$$

де $O = \{O_i\}$ – множина об'єктів керування $i = 1, n$;

$G = \{G_{ij}\}$ – множина алгоритмів керування, що реалізують функцію відображення сукупності вхідних аналогових і дискретних сигналів $\{X_{ij}\}$ на множину вихідних сигналів $\{Y_{ij}\}$ для i -го об'єкта O_i , $j = \overline{1, m}$;

$\mu = \{\mu_{lk}\}$ – множина файлів конфігурації $l = 1, z$, $l = 1, s$, що відображають структуру обчислювального поля алгоритму G_{ij} об'єкта керування A_i , що реалізується. У тому випадку, коли алгоритм G_{ij} керування об'єктом A_i достатньо складний, то він розбивається на фрагменти G_{ij}^t , які виконуються послідовно. Складність фрагменту G_{ij}^t алгоритму G_{ij} характеризується логічною структурою архітектури обчислювача. Файли конфігурації μ_{lk}^t ($t = 1, f$, f – число фрагментів G_{ij}^t алгоритму G_{ij}), що відповідають фрагментам G_{ij}^t алгоритму подають на перенастроюку архітектури послідовно. Очевидно, що при $f=1$ алгоритм G_{ij} реалізується за один раз.

Підходи до структурного синтезу контролерів паралельних інтерфейсів

Конфігурація паралельного контролера з програмованою архітектурою реалізується завдяки запису файлів μ_{lk}^t . Архітектура контролера включає, як правило, один або декілька матричних процесорів, що реалізуються на програмованих інтегральних схемах, і орієнтованих на паралельну обробку математичних залежностей, мікропроцесор для обробки логічної інформації, пам'ять для зберігання файлів конфігурації і первинної інформації, портів тестування/відладки, а також роз'ємів для підключення зовнішніх пристроїв. Зовнішні цифрові порти дозволяють виконувати багатоканальний ввід/вивід даних, а внутрішні розйоми, відповідно, виконують функції розширення для нарощування обчислювальної потужності за рахунок підключення додаткових паралельних модулів. Модель паралельного контролера з можливістю реконфігурації архітектури програмними засобами можна подати у вигляді такої системи (2):

$$P = \langle S, G, L, \varepsilon \rangle \quad (2)$$

де $S = \{S_{ij}\}$ – множина математичних методів для обчислення параметрів об'єкта керування, які є базовими для системи управління; $G = \{G_{ij}\}$ – множина алгоритмів керування, що формуються на основі відповідних методів; $L = \{L_{ij}\}$ – набір програмних компонентів із яких формується описування структури, що синтезується; ε – процедура опису об'єкта керування. Таким чином, процес проектування полягає в рішенні задачі синтезу, паралельної обчислювальної структури на основі програмних компонентів L_{ij} для виконання заданого алгоритму G_{ij} , що реалізує метод S_{ij} відповідно до заданих параметрів і границь. Результатом процедури ε є опис об'єкта управління мовою засобів автоматизації проектування. Процес формування методів і алгоритмів носить, як правило, ітеративний характер. При цьому, критерієм ефективності вибраного методу і алгоритму є загальні характеристики такі, як апаратні затрати, швидкодія, точність обчислювань або надійність обчислювального модуля. Можливі також спеціальні критерії, наприклад, обробки інформації в реальному часі тощо. При цьому для успішного проектування необхідно створити добре структуровану бібліотеку методів і відповідних їм архітектури, що записані у вигляді програмних файлів у зовнішній пам'яті базового комп'ютера і на їх базі ітеративним шляхом реалізувати відповідний вибір пари метод – алгоритм для конкретного об'єкта чи класу об'єктів керування. В цьому випадку задача синтезу зводиться до раціонального вибору відповідної пари метод – алгоритм. Для раціональної побудови архітектури

контролера з можливістю ре конфігурації, задача синтезу зводиться до вибору із раніше сформульованої множини рішень тих, які задовольняють необхідним умовам і знаходяться у вигляді файлів конфігурації в бібліотеці системи проектування. Такий підхід дозволяє не лише отримати ефективні рішення в процесі проектування, а також покращити низку процедур, пов'язаних з постановкою задачі і процедур спілкування клієнта з комп'ютерною системою керування. Проектування паралельної архітектури на основі програмованих логічних інтегрованих схем підтримується інструментальними засобами, які дозволяють: опис, логічне моделювання, розміщення в конкретному кристалі, а також часову верифікацію з послідовним формуванням файлів для конфігурації кристалу.

Підходи до структурного синтезу контролерів послідовних інтерфейсів

Проектування контролерів послідовних інтерфейсів забезпечує ефективну реалізацію протоколу обміну даними при мінімальних затратах на реалізацію системи, що визначаються множиною критеріїв якості. Відповідно до [4] модель контролерів послідовних інтерфейсів можна подати як:

$$Q = \langle R, L, F \rangle \quad (3)$$

де R – алгоритм протоколу обміну даними; $L = \{l_i; i = \overline{1, N}\}$ – множина функціональних елементів (ФЕ), з яких формується структура контролера послідовного інтерфейсу; F – процедура, що описує проект.

Принцип реконфігурованості, покладений в основу проектування контролерів, пройшов певну еволюцію й переосмислення, що, у першу чергу, пов'язане із прогресом елементної бази. Слово «реконфігурованих» трактується подвійно: є функціональні елементи структури, які поєднуються тим або іншим способом, за допомогою каналів зв'язку, для рішення конкретного завдання, або в системі для кожного конкретного завдання використовується нова структура з новими функціональними елементами. Така форма реконфігурації виражається в тому, що для реалізації різних процесів виникають структури в довільному порядку.

Функціональний аналіз

Вихідною інформацією на етапі функціонального аналізу є:

- протокол обміну даними, заданий стандартом на інтерфейс, який може бути представлений граф, схемою алгоритму, набором часових діаграм та ін.;
- множина часових та електричних параметрів, які також задаються стандартом на інтерфейс;
- технічні характеристики елементної бази, на якій заплановано реалізувати реконфігуровувальний контролер.

На даному етапі виконується аналіз протоколу обміну даними, за результатами якого визначається:

- множина форматів повідомлень $\{P\}$ та їх структурна організація;
- множина операцій з опрацювання даних $\{K\}$, що виконуються при прийманні та передаванні повідомлень;
- множина інформаційних ознак $\{U\}$, що дозволяють виявити помилки у повідомленні та забезпечують інформаційну сумісність на рівні біта і повідомлення в цілому;
- множина інформаційних ознак $\{W\}$, що визначають напрямок і порядок обміну даними;
- час приймання/передавання біта (t);

ІНФОРМАЦІЙНІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

– формат кодування (модуляції) біта на фізичному рівні.

Вказані параметри формують вектор функціональних обмежень для реконфігурувальних контролерів:

$$\langle P, K, U, W, \dots, t \rangle \quad (4)$$

Повний перелік параметрів, які входять у (4), є індивідуальний для кожного інтерфейсу та уточнюється на етапі функціонального аналізу. Одночасно, на основі множини $\{K\}$, яка визначає множину операцій з опрацювання даних при прийманні та передаванні повідомлень, формується множина ФЕ $\{L\}$ (3), елементи якої реалізують зазначені операції.

Кожен із ФЕ, які утворюють множину $\{L\}$, можна реалізувати як програмно, так і апаратно, в результаті чого можна записати:

$$L = M \cup C, \quad (5)$$

$M = \{m_i: i = \overline{1, N}\}$ – множина апаратно реалізованих ФЕ;

$C = \{c_i: i = \overline{1, N}\}$ – множина програмно реалізованих ФЕ;

Усі ФЕ, залежно від способу реалізації, характеризуються множиною критеріїв якості. Для апаратно реалізованих ФЕ

$$m_i = \{q_i, t_{mi}\}, \quad (6)$$

де q_i – апаратні затрати на реалізацію ФЕ; t_{mi} – час виконання операції апаратно реалізованим ФЕ.

Аналогічно програмно реалізований ФЕ характеризується множиною

$$c_i = \{r_{ci}, t_{ci}\} \quad (7)$$

де r_{ci} – обсяг підпрограми, що реалізує ФЕ; t_{ci} – час виконання операції програмно реалізованим ФЕ.

Структурний синтез та пошук оптимальних рішень

Для реалізації процесу структурного синтезу реконфігуруємих контролерів користуються множиною базових ФЕ $\{L\}$ на базі морфологічного методу [5]. На їх основі формується морфологічна матриця (ММ) із кількістю рядків N (відповідає числу базових ФЕ) та кількістю стовпців N (відповідає числу альтернативних варіантів реалізації кожного ФЕ):

$$\begin{bmatrix} a_{11} = \langle a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} = \langle a_{i1} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{iN} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{N1} = \langle a_{N1} & \dots & a_{Nj} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

де $i = \overline{1, N}, j = \overline{1, N}$

Основними положеннями дискретної оптимізації передбачається, що кожен базовий варіант ФЕ із множини $\{L\}$, характеризується множиною показників якості (6, 7). Умовами оптимізації є: 1) альтернативність рішень за сторонами; 2) перевага одних рішень над іншими.

Перша умова (альтернативність) передбачає, що всі N можливих варіантів реалізації вузла в межах n -го рядка ММ є альтернативними. Друга умова (перевага одних рішень над іншими) подається таким чином: що задана ММ (8), а сила визначається множиною всіх можливих комбінацій індексів j_i , де $i = \overline{1, N}, j = \overline{1, N}$ необхідно знайти вектор:

$$\vec{a} = \langle j_1 \dots j_i \dots j_N \rangle \in \{a\}, \quad (9)$$

який відображає одну із можливих комбінацій індексів j_i , ФЕ, яка забезпечує мінімізацію цільової функції за всіма критеріями якості: Q – сумарні апаратні затрати на реалізацію контролерів; R – сумарні програмні затрати; T – сумарний

ІНФОРМАЦІЙНІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

час виконання алгоритму, який реалізує протокол обміну даними, що в цілому можна виразити співвідношення:

$$F_{opt} = f(Q * R * T) \rightarrow \min \quad (10)$$

Усі відомі методи багатокритеріальної оптимізації зводять векторний синтез до скалярного [6], з яких найпоширенішим є знаходження оптимального рішення за результатом показником якості k_p як мінімумом добутку критеріїв якості:

$$k_p = Q * R * T \rightarrow \min \quad (11)$$

або зваженої їх суми

$$k_p = \alpha * \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M q_{ij} * x_{ij} + \beta * \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M t_{ij} * x_{ij} + \gamma * \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M r_{ij} * x_{ij} \rightarrow \min \quad (12)$$

із урахуванням обмежень

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M q_{ij} * x_{ij} \leq Q_0 \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M t_{ij} * x_{ij} \leq T_0 \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M r_{ij} * x_{ij} \leq R_0 \quad (15)$$

де x_{ij} – двійкове число, що дорівнює 1, при виборі j -го варіанта i -го вузла; Q_0 – допустимі апаратні затрати на реалізацію реконфігуровувальних контролерів; T_0 – допустимий час виконання всіх операцій (визначається тривалістю повідомлення та міжкадровим проміжком); R_0 – допустимий обсяг програм, що реалізують реконфігуровувальні контролери; α , β , γ , – вагові коефіцієнти, значення яких визначають методом експертних оцінювань.

Висновки

1. Аналіз сучасних мікропроцесорних контролерів орієнтованих на керування швидкодіючими технологічними процесами, а також методів застосування перспективних інтегральних технологій виготовлення надвеликих інтегральних схем довів, що для проведення моніторингу параметрів режимів, що протікають в електричних мережах, є достатньо ефективною організація швидкодіючих контролерів з паралельною архітектурою з можливістю ре конфігурації, які орієнтовані на рішення задач підвищеної інтелектуальної складності і розмірності.

2. Запропонований в даній статті метод організації контролерів із реконфігурованою структурою на базі ПЛІС дозволяє коректніше оцінити ефективність отриманих технічних рішень. Відомі методи оцінюють ефективність системи за двома критеріями якості – сумарні апаратні затрати, сумарний час виконання алгоритму не враховують особливостей реалізації в складі ПЛІС систем, які містять процесорні ядра.

3. У запропонованому методі введено додатковий критерій якості – сумарні програмні затрати, що відображає загальний обсяг пам'яті, необхідний для програмного забезпечення, який виконує алгоритми опрацювання даних у реконфігуровувальних обчислювальних системах, реалізованих у складі ПЛІС. Введений новий критерій якості дозволяє також розглянути альтернативні шляхи реалізації обчислювальної системи на базі однокристальних мікроконтролерів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зотов В.Ю. Проектирование встраиваемых микропроцессорных систем на основе ПЛИС фирмы XILINX / В. Ю. Зотов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2006. – 520 с.

2. Опанасенко В. Н. Синтез реконфигурируемых вычислительных структур контроллеров на ПЛИС / В. Н. Опанасенко, И. А. Щербакова, А. Л. Железняк, Л.Л. Гончарова // Научно-технический журнал. Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті – 2010. – № 1 – С. 33-37.

ІНФОРМАЦІЙНІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

3. *Майків І.* Метод структурного синтезу контролерів послідовних інтерфейсів на базі ПЛІС / Майків І. // Вісник ТНТУ. – 2010. – Том 15. – № 3. – С. 124-131. – (приладобудування та інформаційно-вимірвальні технології).

4. *Таненбаум Э.* Компьютерные сети. – 4-е изд./ Э. Таненбаум. – СПб: Питер, 2003. – 992 с.

5. *Опанасенко В. М.* Формалізація процесу проектування пристроїв та систем на базі ПЛІС/ В. М. Опанасенко, О. М. Лісовий // Комп'ютерні засоби мережі та системи. – 2009. – № 8. – С. 58–63.

6. *Норенков И. П.* Основы автоматизированного проектирования: учебное пособие для вузов. – 2-е изд. / И. П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.С. Баумана, 2002. – 366 с.

УДК 621.398:007

Світлана Наконечна

ВИХІДНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ СТВОРЕННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ІЄРАРХ-ІЄРАРХІЧНИХ МЕРЕЖ

В статті розглянуто вихідні теоретичні положення створення паралельних ієрарх-ієрархічних мереж. Здійснено аналіз методологічних особливостей реалізації паралельно-ієрархічного перетворення, пірамідального оброблення інформаційних середовищ. Розглянуто структуру паралельно-ієрархічної мережі нейроподібного типу та структуру ієрарх-ієрархічної мережі.

В статье рассмотрены исходные теоретические положения создания паралельных иерарх-иерархических сетей. Осуществлен анализ методологических особенностей реализации паралельно-иерархического превращения, пирамидальной обработки информационных сред. Рассмотрена структура паралельно-иерархической сети нейроподобного типа и структура иерарх-иерархической сети.

In article initial theoretical positions of creation of parallel hierarch-hierarchical networks are considered. The analysis of methodological features of realization of parallel-hierarchical transformation, pyramidal processing of information environments is carried out. The structure of parallel-hierarchical network neural-like type and structure of the hierarch-hierarchical network is considered.

Ключові слова: паралельна ієрарх-ієрархічна мережа, нейрон, квантування, пірамідальна обробка, нейроподібна обробка, інформаційні потоки, часовий зсув.

Актуальність проблеми. Стрімкий перехід сучасних систем управління на цифрові стандарти привів до необхідності обробляти з високою швидкістю надвеликі обсяги інформації. Складна обробка й фільтрація сигналів, маршрутизація інформаційних потоків, класифікація і прогнозування швидкозмінних динамічних даних у реальному часі вимагає застосування досить продуктивних інтелектуальних обчислювальних систем. Подібні системи можуть бути реалізовані в різноманітних методологічних базисах та на різноманітній елементній базі, але найбільшого поширення на сучасному етапі одержали паралельні технології.

Постановка задачі. Теоретичні положення для створення паралельних ієрарх-ієрархічних мереж. Ієрархічна мережа – багаторівнева мережа, побудована на базі технічних засобів, різних за структурою, але однорідних на кожному рівні з'єднань [7].

© Наконечна С. В., 2011

Вихідні теоретичні положення базуються на з'ясуванні і створенні математичних моделей ПІ-перетворення, запису, передачі, обробки і подання машинної інформації. Початковою є така аксіома: множина аналогових операндів, така як міра інформації в найбільш стислій формі може бути подана у вигляді сукупності коефіцієнтів паралельно-ієрархічного розкладання, дискретизація яких у ПЧ-області жорстко визначається структурою ПІ-мережі.

Виходячи з умови досягнення максимальної швидкодії обчислювальних структур, для забезпечення найбільшого ущільнення в поєднанні з природним паралелізмом, необхідна організація такої гнучкої (що легко перебудовується) мережної алгоритмічної структури, «скелет» якої заздалегідь жорстко визначений.

Вимоги до організації подібної мережної структури, яка може знайти широке застосування в теорії і практиці різноманітних областей науки і техніки як універсальний інструмент дослідження інформаційних полів, містять традиційні (що стосуються програмної частини) і нетрадиційні вимоги. Для знаходження математично обґрунтованих зв'язків між рівнем якості конкретної алгоритміки й архітектури ПІОС із максимально можливою ефективністю ПІ-перетворення, сформульовано теорему граничного ущільнення інформації. [3].

Теорема. Для ПІ-перетворення в умовах допустимого вибору числової інформації на кожному рівні її обробки існує мінімальний час перетворення, при якому число вихідних коефіцієнтів перетворення з найбільшою ймовірністю відповідає ідеальній моделі.

Нехай τ_k , де $k = 1, 2, \dots$ час вибору довільного елемента з масиву інформації. Позначимо через $T_n = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n$ час вибору всіх елементів із вхідного масиву інформації. Якщо елементи вхідного масиву інформації незалежні випадкові величини, розподілені за цілком визначеним законом, то через ідентичність виконаних у кожному циклі операцій, τ_1, τ_2, \dots однаково розподілені незалежні величини.

Нехай $F(t)$ – функція розподілення випадкової величини T_n , тобто $F_n(t) = P(t \geq T_n)$. Позначимо $m(t)$ кількість циклів вибору елементів вхідного масиву інформації, k_n – кількість однакових елементів у вхідному масиві інформації.

Отже, для дослідження процесу перетворення інформації важливо знайти функцію $P_{n-k_n}(t)$ – ймовірність того, що за час t відбувається вибір $n - k_n$ різноманітних елементів із вхідного масиву інформації за $n - k_n$ кроків і величину t_{n-k_n} – час, при якому ймовірність $P\{m(t) = n - k_n\}$, буде найбільшою. Для знаходження $P_{n-k_n}(t)$ необхідно зробити припущення про розподіл випадкової величини τ_k , $k = 1, 2, \dots$. Природно вважати, що τ_k підпорядковується нормальному розподілу [4].

Наслідок 1. Максимальна швидкодія ПІОС паралельного запису-зчитування інформації досягається ПЧ-квантуванням оптимально критеріального часу кількістю послідовно сформованих коефіцієнтів (хвостових елементів) ПІ-перетворення.

Наслідок 2. Для досягнення реального масштабу часу при мінімальній складності паралельно-ієрархічних алгоритмічних і технічних засобів операнди числового поля повинні оброблятися на основі методу ПІ-перетворення; а при записі, збереженні і зчитуванні інформації здійснюється за допомогою ПІ-кодів.

Наслідок 3. ПІ-перетворення дозволяє здійснити принцип розподіленої мережної обробки, що дуже істотно при реалізації однорідних нейроподібних обчислювальних структур.

Приведене теоретичне джерело важливе у теорії штучних нейронних мереж. Розглянемо N мережу, яка побудована з нейронів, сполучених між собою у відповідності зі статичною топологією. Функціонування такої мережі описується вектором стану $\omega(t) = [\omega_1(t), \omega_2(t), \dots, \omega_m(t)]$, $\omega_k(t)$ – миттєва частота розрядів k -го нейрона. При з'єднанні kl частина n_{kl} імпульсів, які видаються k -м нейроном, надходить у l -й нейрон. Вхідний сигнал k -ї клітини в момент t складається із сигналів, породжуваних джерелами, які знаходяться на різноманітних відстанях від цієї клітини, і відповідно, у зв'язку з скінченністю швидкості поширення, виникає запізнювання за часом [4]. Сумуючи, одержуємо вхідний сигнал:

$$\omega_k^{ex}(t) = \sum_l n_{kl} \omega_l^{ex} \left(\frac{t - d(k, l)}{v} \right), \quad (1.1)$$

де $d(k, l)$ – довжина волокна між k -м і l -м нейронами.

Для сигналу на виході того самого нейрона маємо:

$$\omega_k^{ex} = \chi_k^{ex}(t) \quad (1.2)$$

У результаті ми приходимо до системи рівнянь – рівняння мережі:

$$\chi^{-1} \omega_k^{ex}(t) = \sum_l n_{kl} \omega_l \left(\frac{t - d(k, l)}{v} \right) + y_k(t), \quad (1.3)$$

де $y_k(t)$ – додатковий вхідний сигнал.

Мережа N містить астрономічну кількість клітин m , і тому суму (1.3) можна апроксимувати інтегралом. Якщо ввести матричнозначну функцію $N(L)$ так, що (k, l) – елемент $N(L)\Delta L$ приблизно задається так:

$$(N(L)\Delta L) = \begin{cases} n_{kl}, & \text{якщо } L \leq d(k, l) < L + \Delta L \\ 0, & \text{в інших випадках,} \end{cases} \quad (1.4)$$

то ця апроксимація виявляється матрично-векторним інтегральним рівнянням Вольтера:

$$\chi^{-1} \omega_k^{ex}(t) = \int_0^{\infty} N(L) \omega\left(\frac{t-L}{v}\right) dL + yt = v \int_{-\infty}^t N[v(t-u)] \omega(u) du + yt, \quad (1.5)$$

де матриця повної мережі визначається як:

$$N = \int_0^{\infty} N(L) dL \quad (1.6)$$

Інтеграл (1.6) представляє просторове сумування в мережі. Добре відомо, що рішення рівняння в мережі можна знайти за допомогою:

$$\omega(t) = \int_0^t M(t-u) y(u) du, \quad (1.7)$$

де матричнозначне ядро $M(\cdot)$ представляється рядом Неймана.

Проте, якби мережа N являла собою більш-менш однорідне середовище, як це буває в класичному випадку в акустиці й оптиці, то ми мали б справу з хвилею, породженою точковим джерелом.

У випадку N -мережі ситуація інша. Якщо для яких-небудь ненульових елементів $N(L)$ поширюється на великі значення L і якщо метрика $d(k,l)$ дуже відрізняється від метрики фізичного простору мережі, то результатом будуть переходи з однієї області на іншу, і поведінка буде відрізнятися значно меншою регулярністю, ніж явища хвильового типу, що використані в класичній фізиці. Тому при моделюванні таких процесів потрібні нові підходи, які враховують неоднорідності простору мережі. У цьому разі ми приходимо до того, що природні нейронні мережі цілком неоднорідні і мають характерну тривимірну архітектуру. Разом з тим, відомо, що N мережі не враховують у даній мірі неоднорідність і тривимірність природних нейронних мереж.

Топологія природних нейронних мереж, яка задає спосіб з'єднання комірок мережі між собою, очевидно, визначена генетично, в крайньому разі на глобальному рівні і тому з'єднання, безсумнівно також не є абсолютно випадковими [4].

Методологічні особливості структурно-функціональної організації паралельної ієрарх-ієрархічної мережі. Зростаючий обсяг даних і обчислень, необхідних для обробки великих масивів інформації, потребує усе більшої продуктивності використовуваних для цього систем. Оскільки щільність «упаковування» елементів в інтегральних схемах визначається фізичними обмеженнями, швидкодія в результаті обмежується кінцевою швидкістю поширення електромагнітних коливань від одного елемента до іншого. Перебороти цей фізичний бар'єр можна тільки розпаралелюванням обчислювальних процесів у системі, що, у свою чергу, призводить до ускладнення її архітектури. Інтелектуальна обробка інформації потребує розгляду кожного елемента в деякому контексті його зв'язків, а це можливо тільки в обчислювальній системі, що має топографічну структуру з тривимірним розташуванням процесорних елементів

(ПЕ). Саме така структура системи добре узгодиться з природним нейроподібним сприйняттям сенсорної інформації [7].

Високопродуктивну систему обробки інформації можна одержати лише пристосуванням архітектури під відповідну структуру даних. Проте структура даних у процесі пірамідальної обробки змінюється від великого фіксованого масиву на нижньому рівні до невеличкої гнучкої структури на верхньому. Найбільший інтерес викликають однорідні нерозподілені обчислювальні структури, що відповідають класу SIMD-систем, у яких декілька рівнів ідентичних ПЕ працюють в SIMD-режимі. Кожний рівень містить велику кількість простих ПЕ.

Принцип побудови пірамідальної ієрархічної структури даних, можна визначити як послідовність масивів даних того самого інформаційного поля на різноманітних рівнях дозволу: $P = (A_0, A_1, A_2, \dots, A_L)$, де A_i – інформаційне поле, i – номер рівня дозволу, $i = \overline{0, L}$. Така піраміда інформаційних полів формує обчислювальну структуру, яка дозволяє реалізувати методи інтелектуального сенсорного сприйняття. Сутність пірамідального підходу полягає в одночасному використанні при аналізі послідовності масивів даних на різноманітних рівнях ієрархії. Це дозволяє реалізувати стратегію від «загального до часткового», що дає можливість реалізувати концепцію нейроподібної обробки. Кожний елемент піраміди інформаційного поля характеризується трьома координатами (i, j, k) , де i – рядок, j – стовпчик, k – рівень.

Принцип побудови паралельно-ієрархічної структури даних можна визначити як послідовність операцій над множинами масивів даних, що утворюють множини інформаційних полів різноманітних рівнів ієрархії, взаємодія між якими здійснюється пірамідальною ієрархічною структурою і реалізується на основі мережної архітектури.

Мережні перетворення є нелінійними перетвореннями, ядра яких можна уявити у вигляді мережної моделі. У результаті прямого мережного паралельно-ієрархічного перетворення матриці зображення $\mu(i, j)$ розміру $S \times n_s$ утвориться одномірна матриця $\varphi(t, p)$, елементи якої визначаються так:

$$\text{Якщо } \mu(i, j) = \sum_{i=1}^{n_s} a^i, \text{ а кількість рівнів } k = \sum_{p=0}^c (3p+2), \text{ де } c = 0, 1, 2, \dots, \text{ тоді}$$

$$\Phi_{t=2}^k \left[\sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^{n_s} \mu(i, j) \right] = \sum_{t=2}^k a_{t1}^t, \text{ де } \sum_{t=2}^k a_{t1}^t = \varphi(t, p).$$

У цьому разі для кожного вихідного елемента мережного перетворення справедливе виконання такого співвідношення:

$$\varphi(t, p) = \Phi(j, i, t, p) \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^{n_s} \mu(j, i), \quad (1.8)$$

де $\Phi(j, i, t, p)$ – ядро нелінійного прямого мережного перетворення, заданого над елементами вихідного зображення.

Співвідношення (1.8) у векторній формі має вигляд:

$$\varphi = \Phi \cdot f, \quad (1.9)$$

$$\text{де } f(j, i) = \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^{n_s} \mu(j, i).$$

Вихідне зображення можна одержати за допомогою зворотнього мережного паралельно-ієрархічного перетворення, яке описується співвідношенням:

$$\hat{f}(j, i) = \Phi^-(j, i, t, p) \sum_{r=2}^k \sum_{p=0}^c \varphi(j, i), \quad (1.10)$$

де $\Phi^-(j, i, t, p)$ – ядро нелінійного зворотнього мережного перетворення.

Обернене мережне перетворення у векторній формі має вигляд:

$$f = \Phi^- \varphi \quad (1.11)$$

У спрощеному вигляді процес сприйняття сенсорних сигналів органів чуття людини можна представити як взаємозв'язаний ітераційний процес паралельного ПЧ-порівняння множини сигналів і виділення з даної множини підмножин загальних і різноманітних ознак-сигналів (ОС). Причому кожна нова сукупність різницевого ОС шляхом еволюційної зміни породжує нову підмножину загальних ОС. Даний процес сприйняття сенсорної інформації в ПЧС відбувається безупинно в часі й одночасно (паралельно) у всіх системах органів чуття людини.

Кожна нова сукупність загальних і різноманітних ОС характеризує новий ієрархічний рівень переробки сенсорної інформації. У сенсорних системах характерна ієрархічна організація аналізу і синтезу інформації, яка переробляється.

Процес синтезу, тобто формування уявлень образів матеріального світу відбувається в оберненій послідовності, тобто із збереженої в короткочасній (оперативній) або довгостроковій (постійній) пам'яті мозку сукупності різноманітних «відображень» ОС формується на кожному ієрархічному рівні нова сукупність нових і різноманітних «відображень» ОС.

Таким чином, на структурному рівні процес нейроподібної обробки можна подати як паралельно-ієрархічний і взаємозв'язаний процес аналізу інформації в ряді сенсорних зон з ієрархічними рівнями усе більш високого порядку, найвищі з яких формують сукупності максимально загальних і різноманітних ОС [5].

Взаємозв'язані підгрупи являють собою сполучені за визначеним законом частини мережі, що можуть широко розгалужуватися по всій корі. Здійснення найскладнішої функції – спроможності прийти до якоїсь форми абстрактного висновку є результатом діяльності всієї розподіленої мережі.

Мережна структура (рис. 1) дозволяє імітувати принцип дії розподіленої нейронної мережі і за рахунок просторового поділу в часі, утворює детерміновану мережу (рис. 1). У нейробіологічній інтерпретації на рис. 1 перекреслений квадрат означає конвергентну структуру, а безпосередньо квадрат – дивергентну (⊗ – множина різних станів ПЧС, □ – загальні стани ПЧС). Така мережа складається із сукупності підмереж (рис. 2) формування ознак про стани ПЧС, структура яких однорідна і складається з ряду взаємозалежних ієрархічних рівнів [4].

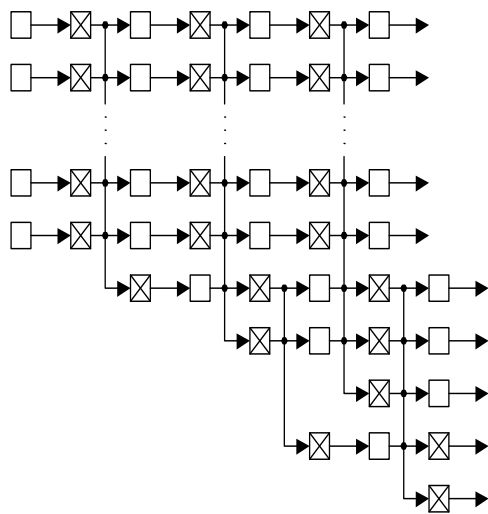


Рис. 1. Структура паралельно-ієрархічної мережі нейроподібного типу

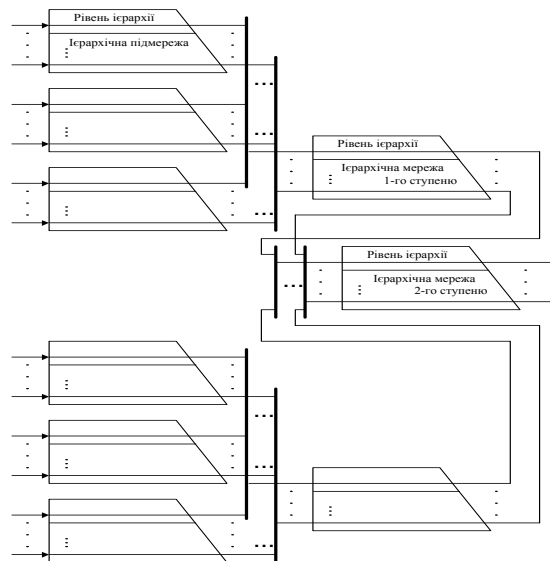


Рис. 2. Структура ієрарх-ієрархічної мережі

Алгоритм роботи мережі універсальний і полягає в паралельно-ієрархічному формуванні сукупностей загальних і різноманітних ОС про стани ПЧС. Узагальнення усіх виглядів сенсорної інформації відбувається на самому кінцевому етапі перетворення поза ієрархічної обробки кожного виду сенсорної інформації. Отже, процес узагальнення між різноманітними видами сенсорної інформації починається лише тоді, коли побудова за визначеною сукупністю ознак закінчується [4].

Сутність паралельно-ієрархічного підходу полягає в одночасному використанні послідовності множин масивів даних, які утворюють множини інформаційних полів на різноманітних рівнях ієрархії, рекурсивному формуванні нових послідовностей інформаційних потоків на різноманітних рівнях ієрархії, що дозволяє реалізувати стратегію багаторівневої взаємодії від «загального до часткового». Кожний елемент паралельно-ієрархічної піраміди характеризується чотирма координатами (i, j, k_1, k_2) , де k_1 – рівень піраміди першого рівня, k_2 – рівень паралельно ієрархічної піраміди інших рівнів. Пірамідальна обчислювальна структура на основі ПП-перетворення утворює мережу у вигляді паралельно-ієрархічної піраміди. Тут для кожної піраміди використовується свій ПЕ, а число ПЕ визначається сумарним числом гілок ПП-мережі [4].

Висновки. Паралельні ієрарх-ієрархічні перетворення в поєднанні з можливостями інформаційної оптоелектроніки відкриває широкі перспективи поліпшення функціонування обчислювальних систем новаторської архітектури, відомих під назвою систем паралельної обробки. Зважаючи на наведені методологічні особливості реалізації паралельності в програмних додатках можна стверджувати, що організація паралельно-ієрархічних мереж входить до класу задач, які ефективно реалізуються на основі паралельної обробки інформації, а

організація ієрарх-ієрархічних мереж – відповідно на основі розподіленої обробки інформації із застосуванням кластерних систем.

Аналізуючи мережне перетворення (рис. 2), можна зробити висновок про те, що в процесі утворення кожного рівня формується часовий зсув (τ), наявність якого призводить до одержання хвостових функцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кожем'яко В. П. Паралельно-ієрархічні мережі як структурно-функціональний базис для побудови спеціалізованих моделей образного комп'ютера: моног. / В. П. Кожем'яко, Л. І. Тимченко, А. А. Яровий. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2005. – 161 с.
2. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель оптико-електронних засобів штучного інтелекту: моног. / [В. П. Кожем'яко, Ю. Ф. Кутаєв, С. В. Свечніков, та ін.] – В.: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 324 с.
3. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель для розпізнавання зображень / Л. І. Тимченко, В. В. Мельніков, Н. І. Кокряцька [та ін.] // Искусственный интеллект. – 2008. – № 3. – С. 353-363.
4. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель оптико-електронних засобів штучного інтелекту. Монографія// Л. І. Тимченко, В. П. Кожем'яко, Ю. Ф. Кутаєв, С. В. Свечніков, А. А. Яровий. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003 – 324 с.
5. Паралельно-ієрархічні мережі як структурно-функціональний базис для побудови спеціалізованих моделей образного комп'ютера: Монографія // Л. І. Тимченко. Співавтори: В. П. Кожем'яко, А. А. Яровий. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2005. – 161 с.
6. Тимченко Л. І. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель ефективних засобів штучного інтелекту: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.13.23 «Системи та засоби штучного інтелекту» / Л. І. Тимченко; Держ. науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури. – Львів, 2002. – 36 с.
7. Яровий А. А. Методологічні особливості побудови паралельно-ієрархічних та ієрарх-ієрархічних мереж на основі кластерних систем з розподіленою обробкою інформації / А. А. Яровий // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2010. – № 1 (19). – С. 69–79.
8. Яровий А. А. Нейроподібна мережна модель паралельно-ієрархічної обробки цифрової інформації для задач ідентифікації плямових зображень лазерних пучків / А. А. Яровий // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 5 (74). – С. 95–102.

УДК 004.274

Наталія Михно

**СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ
КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ НА ЭЛЕМЕНТАХ АВТОМАТНОЙ
ПАМЯТИ**

Рассмотрены способы построения реконфигурируемых компьютерных систем на элементах автоматной памяти, обладающих большей скоростью при изменении работы иерархических алгоритмов.

Розглянуті способи побудови реконфігурувальних комп'ютерних систем на елементах автоматної пам'яті, що мають більшу швидкість при зміні роботи ієрархічних алгоритмів.

Given work examined the methods of design of the reconfigurable computer systems based on digital circuits of elementary memory with the ability to change the processing of hierarchical algorithms at the very high speed.

Ключевые слова: перспективные, разработки, триггеры, реконфигурируемые устройства, компьютер

Введение

Первые теоретические исследования по синтезу многофункциональных логических устройств относятся к началу 60-х годов XX столетия. Системные исследования многофункциональных устройств (элементов, модулей) начались с появлением больших интегральных схем (БИС) в конце 60-х и начале 70-х годов. Эти работы положили начало теории многофункциональных автоматов [1-4]. К этим работам относятся работы по проблемам синтеза гибких (многофункциональных) устройств, которые изменяют свое частичное функционирование под воздействием автомата стратегии, которая обрабатывает общую (стратегическую) информацию. Известны работы В.М. Глушкова, В.И. Варшавского, Е.В. Евреинова, А.Д. Закревского и многих других. Выдающееся место среди этих работ занимают работы Д. Естрина по организации гибкой структуры компьютеров, которая подана двумя основными частями: постоянной (автоматом стратегии, который обрабатывает общую информацию) – компьютер с жесткой структурой, и переменной (наборов вычислительных устройств, какие способные обрабатывать отдельную информацию), то есть с помощью общей информации перестраивать свою структуру [1-2], а также работы школы академика А.В. Палагина по формальному проектированию процессоров с гибкой архитектурой [3]. Они определили новое направление в области вычислительной техники по проектированию многофункциональных устройств с виртуальной архитектурой на базе ПЛИС – «Reconfigurable Computing».

© *Михно Н. Л., 2011*

Термин «Reconfigurable Computing» в общем случае определяет двуединое понятие: как реконфигурированность структуры компьютера (hardware), так и процесс обработки данных программно (software), который выполняется компьютером. Значительный вклад в развитие этой проблематики внесли такие работы, как: П.Н. Бибило, В.Ф. Евдокимова, М.М. Кузе, В.В. Соловьева, А.И. Хаханова, Я.А. Хетигурова и другие [1-3].

Реконфигурированные компьютерные системы, которые построены с памятью на триггерах

Рассмотрим этот принцип на основе вычислительных систем, в которых переход от одной системы обработки информации к другой реализован с помощью автомата стратегии.

Припустим, что у нас есть вычислительная система, которая состоит из двух блоков. Один блок представляет собой автомат стратегии, который изменяет алгоритм работы многофункционального блока.

Архитектура такой реконфигурируемой системы, которая построена на таком принципе, представлена на рис. 1.

Такая структура (рис. 1) является обобщенной структурой, которая позволяет изменять многофункциональный (рабочий) алгоритм под воздействием настраивающего алгоритма, реализованного в автомате стратегии.



Рис. 1. Обобщенная реконфигурируемая структура

Все современные устройства компьютерных систем с памятью на триггерах построенные по такому принципу, реализуют переход от одной системы команд к другой не менее как за два машинных такта. Это объясняется тем, что в автомате стратегии, реализованного с памятью на триггерах, алгоритм может перейти в новое состояние в лучшем случае за один машинный такт, переведя состояния схем памяти в новое состояние, и выдать выходной сигнал настройки для многофункционального автомата. Многофункциональный автомат, который получает новый сигнал перестройки, настраивается на определенный алгоритм работы, переведя состояния своих схем памяти в новое состояние на следующем машинном такте. Такая схема работы иерархического алгоритма определяет последовательную обработку информации в реконфигурируемой компьютерной системе.

Скорость V решения задач при последовательной обработке иерархической информации: общей, реализуемой автоматом стратегии, и частной, реализуемой многофункциональным автоматом, при программном управлении в значительной сте-

пени зависит от количества обращений к устройству памяти для перестройки реконфигурируемой системы, которая в первом приближении вычисляется по формуле [6]:

$$V = \frac{1}{k_1 t_1 + k_2 t_0}, \quad (1)$$

где t_1 – время выборки слова из памяти при выполнении операции в отдельном устройстве;

k_1 – среднее количество обращений к устройству памяти при выполнении операций в отдельном устройстве;

k_2 – среднее количество обращений к устройству памяти для перестройки алгоритма автомата стратегии;

t_0 – время выборки слова из памяти при обращении к автомату стратегии для перестройки алгоритма обработки информации.

Основными причинами такой последовательной обработки информации в иерархических алгоритмах является использование в качестве схем памяти в устройствах триггеров, которые не могут изменять алгоритм своей работы и сохраняют все свои состояния только в одном подмножестве при отсутствии на их входах активных сигналов.

Особенности элементов автоматной памяти

Схемы автоматной памяти: многофункциональные и многоуровневые описаны в литературе и защищены патентами [7–12]. Особенности этих схем по сравнению с триггерами является их возможность перестраивать множества своих запоминаемых состояний при воздействии на них сохраняющих сигналов. Многофункциональные схемы памяти (МФСП) в состоянии изменять свои состояния под воздействием двух входных сигналов: устанавливающих $x_i(t)$ и сохраняющих $e_j(\Delta)$. Под воздействием сохраняющих $e_j(\Delta)$ входных сигналов запоминаются состояния, которые принадлежат определенным подмножествам π_j . В МФСП можно осуществлять однозначные переходы за один машинный такт T под воздействием входного слова $p_0(T) = x_i(t)$, $e_j(\Delta)$ в определенном подмножестве состояний π_j и укрупненные переходы T под воздействием входного слова $p_y(T) = x_i(t)$, $e_j(\Delta)$ в определенном подмножестве состояний μ_i (см. табл. 1).

Таблица 1

Блоки π_j и μ_i состояний МФСП

Сохраняющие $e_j(\Delta)$ входные сигналы	Устанавливающие $x_i(t)$ входные сигналы				Блоки π_j состояний МФСП
	$x_1(t)$	$x_2(t)$...	$x_n(t)$	
e_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	π_1
e_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	π_2
...
e_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}	π_m
	μ_1	μ_2	...	μ_{mn}	
	Блоки μ_i состояний в каждой группе МФСП				

Принципы построения реконфигурируемого компьютера на элементах автоматной памяти

Структурная схема компьютера, реализующего автоматную память, может иметь два полипрограммных уровня управления, которые выполняются одновременно в каждом цикле, в котором управляющее отдельное устройство реализует микропрограммы, а управляющее общее устройство реализует миллипрограммы [14]. В процессе работы инструкции миллипрограмм (общих команд) в состоянии одновременно изменять структуру выполнения инструкций микрокоманд (отдельных команд), что позволяет увеличить скорость выполнения иерархических алгоритмов и увеличить их гибкость при решении задач, алгоритмы которых изменяются в процессе их решения. Такая возможность появляется при применении в устройствах компьютера в качестве регистров на элементах N -уровневых схем памяти (МУСП), которые запоминают одновременно общую и отдельную информацию [8; 9].

Для каждого уровня управления можно применять операционное устройство (арифметико-логическое устройство), а также дополнительную кэш-память на элементах N -уровневых схем памяти.

Существенным является то, что электронная вычислительная машина (рис. 2) состоит из двух компонентов: процессора и оперативной памяти,

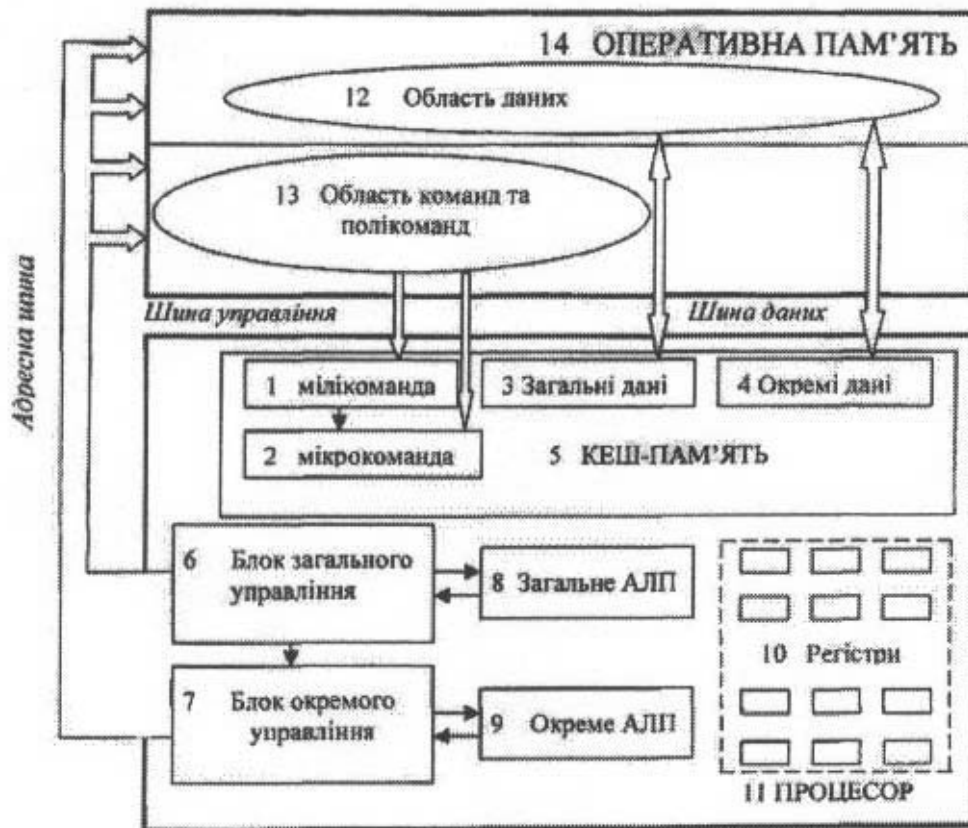


Рис.2. Реконфигурируемая электронная вычислительная машина на элементарных многоуровневых схемах памяти

что связанные между собой системной шиной, которая состоит из шины данных, шины управления и адресной шины; отличается тем, что процессор имеет N -уровневые схемы памяти (например, $N=2$), которые составляют регистры общего назначения (РОН), общее арифметико-логическое устройство (АЛУ) и отдельное АЛУ, что связанные с соответствующими блоками управления общего и отдельного уровня; блоки управления иерархически связаны от общего к отдельному. Блок общего управления и блок отдельного управления через адресную шину связаны с оперативной памятью. Оперативная память разделена на область данных и область команд, соответственно связанных через шину управления и шину данных с кэш-памятью, которая имеет иерархические регистры для милликоманд и микрокоманд и регистры для общих данных и отдельных данных, соответственно связанных блоками управления общего и отдельного уровня и с блоками АЛУ. Блоки кэш-памяти имеют обратную связь по шине данных с областью данных [15].

Особенности функционирования компьютера построенного на элементах автоматной памяти

Функционально электронная вычислительная машина синхронна. Запись данных и команд из оперативной памяти в регистры и кэш-память осуществляется по тактовому сигналу. Потом соответствующие данные для обработки поступают по шине на АЛУ. Когда все выполнено, то АЛУ приступает к работе. После вычисления результаты передаются шине данных регистров. АЛУ может в течение одного цикла читать и записывать данные в регистр. Как данные, так и поликоманды для их обработки процессор получает из ячеек оперативной памяти. Поликоманды разделяются на общие команды, из которых состоит миллипрограмма, и отдельные команды, из которых состоят микропрограммы. Эти две команды одновременно подаются на соответствующие уровни N -уровневых схем памяти (например, $N=2$) блоков управления процессора, которые в одном цикле реализуют иерархические изменения алгоритма.

Одной из основных временных характеристик обработки иерархической информации в этом случае есть более быстрая обработка частичной информации по отношению к общей, а одной из функциональных характеристик управляющей информации – изменение алгоритма обработки частичной информации при определенной обработке общей управляющей информации.

Скорость V - решения задач при одновременной обработке общей и частной информации на полиграммному уровне управления в первом приближении можно вычислить по формуле:

$$V = \frac{1}{k_1 t_1}, \quad (2)$$

где t_i – время выборки слова с памяти при выполнении операций в частном устройстве и одновременно выборку слова для изменения алгоритма обработки в автомате стратегии;

k_1 – среднее количество обращений к устройству памяти при выполнении операций.

Можно представить, что регистр команд в компьютере состоит из БФСП, которые перестраивают множество своих состояний (команд) под управлением управляющего регистра. При этом регистр на МФСП эффективно реализует рабочие алгоритмы системы команд для обработки специальных алгоритмов при решении

только одного определенного класса задач, а в случае другого класса задач регистр на МФСП имеет возможность настраиваться на эффективную обработку специальных алгоритмов при решении другого класса задач. Таким образом, при миллипрограммном уровне управления компьютер может работать как разные компьютеры, которые более эффективно обрабатывают информацию разных классов задач.

Кроме этого, в компьютере появляются новые возможности обработки данных, которые в настоящее время принципиально нельзя применять, поскольку память регистров базируется на двоичных триггерах. При миллипрограммном управлении можно использовать новые укрупненные переходы, которые расширяют возможности компьютера, компьютерных систем и сетей. Это дает возможность создавать более быстродействующие многофункциональные устройства, компьютеры, системы и сети, способные перестраивать алгоритмы своей работы в зависимости от потребностей объекта управления.

Общую информацию можно также подавать как отдельную (частичную) и общую (управляющую). Такое иерархическое разделение информации конечно и стремится к определенному минимальному объему общей информации.

Основным отличием особенности принципа иерархического программного управления есть то, что частичная управляющая информация разбивается на блоки (подмножества) состояний, область функционирования которых определяется состоянием общей управляющей информации, которая генерирует входной сигнал для этих блоков состояний (реализуя функцию принадлежности).

Выводы

В настоящее время на рынке компьютеров появились компоненты (кристаллы), которые содержат количество логических вентилях до 10^6 [4; 5]. В связи с этим можно без больших проблем строить на их основе, с использованием технологии элементарных схем автоматной памяти, сложные реконфигурируемые системы обработки информации с большим быстродействием перестройки алгоритмов решения иерархических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Estrin G., Tumb R.* Automatic assignment of computation in a variable computer system // IEEE Transaction on Electronic Computers. – EC-12, № 6. – 1963. –P. 755–768/
2. *Estrin G., Tumb R.* Parallel processing in a restructurable computer // IEEE Transaction on Electronic Computers. – EC-12, N6. – 1963. –P. 747–755.
3. *Палагин А. В.* Реконфигурируемые вычислительные системы: Основы и приложения / А.В. Палагин, В.Н. Опанансенко. – К.: Просвіта, 2006. – 280 с.
4. *Мелехин В. Ф.* Вычислительные машины, системы и сети : Учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. Ф. Мелехин, Е. Г. Павловский. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 560 с.
5. *Мураховский В. И.* Железо ПК. Новые возможности. – СПб.: Питер, 2005. – 592 с.
6. *Михно Н. Л.* Способы построения реконфигурируемого процессора на «элементном» уровне. / Збірник наукових праць ДЕТУТ, Серія «Транспортні системи і технології», 2011, Вип. 18. – С. 84 – 94.
7. *Михно Н. Л., Мараховський Л. Ф., Погребняк В. Д.* Схема пам'яті. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 34166 від 25 липня 2008 р. – (51) МПК (2006) H03K 29/00 – Бюл. 14.–12 с.
8. *Михно Н. Л., Мараховський Л. Ф.* Схема пам'яті. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 29581 від 25 січня 2008 р. – (51) МПК (2006) G05B 11/42 – Бюл. 2. – 14 с.

ІНФОРМАЦІЙНІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

9. *Міхно Н. Л., Мараховський Л. Ф.* Схема пам'яті. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 29582 від 25 січня 2008 р. – (51) МПК (2006) G05B 11/42 – Бюл. 2. – 10 с.
10. *Міхно Н. Л., Мараховський Л. Ф., Шарапов А. Д., Воеводин С. В.* Комп'ютерна схемотехніка: практикум для бакалаврів спец. «Інтелектуальні системи прийняття рішень» – Київ: КНЕУ, 2009. – 245 с.
11. *Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф.* Елементарні багатофункціональні схеми автоматної пам'яті. / Збірник наукових праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології», 2008. – Вип. 13. – С. 229-241.
12. *Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф.* Определение входных слов элементарных многофункциональных схем автоматной памяти / Збірник наукових праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології», 2009. – Вип. 14. – С. 139-151.
13. *Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф.* Мікропроцесорний пристрій управління. – Патент зареєстровано в державному реєстрі патентів на корисні моделі №87871 від 28.08.2009р.-(51) МПК(2008) G06F9/00 – Бюл. 16. – 6 с.
14. *Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф.* Структурний автомат. – Патент.–Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 25816 від 27 серпня 2007 р. – (51) МПК (2006) G06F 1/00 – Бюл. 13.– 12 с.
15. *Міхно Н.Л., Мараховський Л.Ф.* Електронна обчислювальна машина. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 34167 від 25 липня 2008 р. – (51) МПК (2006) G06F 17/00 – Бюл. 14.

УДК 681.5.033:656.2

*Валерий Самсонкин
Виктор Меркулов*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОГО МЕХАНИЗМА
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ
ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ**

Статья посвящена одному из аспектов, направленному на обеспечение транспортной сети дороги погрузочными ресурсами.

Рассматриваются вопросы определения наиболее рационального уровня принятия решений, распределения полномочий и ответственности при распределении ресурсов в процессе разработки регулировочных заданий. Формализована модель процесса календарного планирования с использованием аппарата теории игр.

Стаття присвячена одному з аспектів, спрямованому на забезпечення транспортної мережі дороги навантажувальними ресурсами.

Розглядаються питання визначення найбільш раціонального рівня прийняття рішень, розподілу повноважень і відповідальності при розподілі ресурсів у процесі розробки регульовальних завдань. Формалізовано модель процесу календарного планування з використанням апарата теорії ігор.

The article is dedicated to one of the aspects, aimed at providing of a transport network of road with loadings resources. The questions of determination of the most rational way of making decision and distribution of full powers and responsibilities at allocation of resources in the process of development of regulation tasks are being considered. The model of process of the calendar planning with the use of vehicle of game theory is formalized.

Ключевые слова: центр, потребитель, техническое нормирование, грузовые перевозки, логистическое управление, погрузочно-выгрузочные работы, аспект принятия решений, автоматизированная система, ресурсы, теория игр, заявки, приоритет, дефицит, стратегия, эффект, экспертные оценки, принятие решений

Критерием оптимизации управления перевозочным процессом, безусловно, должна стать прибыль, получаемая в первую очередь благодаря полному удовлетворению спроса на грузовые перевозки как по объему, так и по качеству.

Одним из наиболее действенных путей повышения эффективности перевозочного процесса, увеличения пропускной способности магистралей является дальнейшее совершенствование системы планирования перевозочного

© Самсонкин В. Н., Меркулов В. С., 2011

процесса. Существенно возрастает роль графика движения поездов. На графике движения наряду с планом формирования основывается вся система технического нормирования эксплуатационной работы, от которой зависят экономические результаты деятельности железных дорог.

Современное управление вагонопотоками должно быть более гибким, легко приспособляемым к изменениям в организационно-экономической структуре железнодорожных перевозок, к возросшей динамичности и колебаниям транспортных потоков.

Организация отправительских маршрутов и изменение плана формирования грузовых поездов с перераспределением сортировочной работы на станциях сети дают экономию эксплуатационных расходов от сокращения переработки вагонов.

Сегодня во многих странах, в том числе и на Украине, разработаны новые технологии логистического управления перевозками в транспортных узлах, реализованные в виде АРМ сетевых диспетчеров центров управления перевозкам, в рамках которых решается задача планирования, направленная на обеспечение сети погрузочными ресурсами.

Проведенный в рамках данного исследования анализ систем оперативного планирования погрузочно-выгрузочных работ, действующих в составе АРМ диспетчера по распределению порожних вагонов подтвердил актуальность данной разработки, обусловленную рядом объективных причин:

- необходимостью минимизировать сроки формирования планов погрузки-выгрузки;
- отсутствием научно-обоснованной методики расчета потребного количества подвижного состава для погрузки-выгрузки;
- отсутствием единых комплексных научных методов и организационных средств реализации подобных систем;
- отсутствием практических методов принятия и оценки решений обслуживающим персоналом в конфликтных ситуациях, возникающих при планировании.

Диспетчерский персонал на всех уровнях управления руководит перевозками в первую очередь по заданным планам с учетом графика движения и плана формирования поездов, технических норм и регулировочных заданий, пытаясь выполнить количественные и качественные показатели. Очевидно, что в оперативных условиях при дефиците времени на принятие управляющих действий они не в состоянии объективно оценить экономические последствия принимаемых решений, особенно на сквозных направлениях.

Построить аппарат управления как организационный механизм принятия решений означает необходимость, во-первых, определить в нем местонахождение и сферу ответственности центров принятия решений (в дальнейшем изложении Центров) по всему кругу организационных проблем и, во-вторых, наладить организационное взаимодействие на всех этапах процесса разработки, принятия и реализации решений. Такой подход позволяет учесть единство формальных и неформальных аспектов организационных структур, а также отразить динамику организационных структур. Это отнюдь не отвергает идею иерархически упорядоченной структуры организации, не отрицает значения традиционного выделения линейных и аппаратных подразделений, установления системы подчиненности и т.п. Но в дополнение к этому необходимо четко определить, где

реализуются последовательные стадии процесса принятия решений по основным видам возникающих в организации проблем.

Выделение в организационной структуре Центров – весьма сложный вопрос. Он тесно связан с проблемой распределения полномочий и ответственности, с одной стороны, и с задачей распределения ресурсов – с другой. Формирование рациональной организационной структуры управления, прежде всего, должно дать точный ответ на вопрос: на каком уровне будут приниматься решения, направленные на реализацию тех или иных целей и устранение возникающих отклонений. Структура управления отражает одновременно два фактора: дифференциацию решений, обеспечивающих достижение системы целей организации и распределение полномочий на принятие решений. Иначе говоря, организационная структура должна отражать структуру принимаемых в ней решений.

Определяя в организации наиболее рациональный уровень принятия тех или иных решений, необходимо принять во внимание следующие соображения [5].

Информационный аспект. На каком уровне иерархии существуют наиболее благоприятные условия с точки зрения оперативности и качества решения? Этот фактор требует предоставления полномочий тому уровню, который обладает максимумом оперативной информации по данной проблеме. Вместе с тем необходимо, чтобы решение не только принималось быстро, но и обладало высоким качеством. А так как качество решения во многом определяется качеством информации, использованной для его разработки, то это также требует наделения полномочиями того уровня, который обладает наиболее объективной, достоверной, не искаженной многочисленными передачами информацией.

Экономический аспект. Означает необходимость учитывать:

- наличие необходимых для реализации решения ресурсов;
- материальную мотивацию работников соответствующих подразделений в принятии и реализации оптимального (с точки зрения интересов организации в целом) решения.

Как видим, информационный аспект принятия решений требует децентрализации процессов принятия решений, однако экономический фактор – ресурсы, находящиеся, как правило, в распоряжении менеджеров высшего уровня, может сделать это невозможным. Поэтому, формируя структуру управления, необходимо не только четко определить в ней Центры, но и наделить их соответствующими ресурсами, обеспечивающими выполнение принимаемых решений. В этом случае вышестоящая ступень иерархии распоряжается уже не всеми, а лишь определенными резервными ресурсами. Кроме того, необходимо использование методов мотивации, побуждающих работников каждого уровня управления стремиться к максимально самостоятельному решению проблем, находящихся в их компетенции и наиболее эффективному использованию ресурсов.

Поэтому актуальна задача – максимально использовать математические модели для разработки всех нормативных документов и планов организации перевозок с позиции оптимизации эксплуатационных расходов, осуществить реальный переход к информационно-управляющим системам в оперативной деятельности с доведением всех разработок до АРМ конкретных исполнителей.

Сколько бы ни говорили о достоинствах того или иного программного продукта, только люди решают «быть или не быть» автоматизации конкретного предприятия и какой именно. Любой программный продукт создается в соответствии с нуждами

пользователей. Однако следует учесть, что пожеланий у пользователей всегда будет никак не меньше, чем их самих, причём требования к системе бывают порой противоречивыми и трудно выполнимыми, хотя внешне выглядят весьма просто. Вот почему последнее слово и единственное право принятия решения в этих ситуациях остается за высшим руководством предприятия-заказчика.

Высшее руководство заказчика формулирует цели и ставит задачи на проект, а также определяет уровень возможных для предприятия затрат на автоматизацию (от – до). При этом принятое заказчиком решение может столкнуться с некоторыми препятствиями прежде, чем начнёт воплощаться в жизнь. Каковы же эти препятствия?

1. Человеческий фактор. Претворять решение в жизнь в конце концов придётся людям. Однако полезно учитывать следующие моменты. На процесс окончательного принятия решения могут воздействовать разные службы и специалисты. Немалую роль тут играют и службы АСУ, их место и статус на предприятии. Эти специалисты существенно влияют на выбор платформы для создания комплексной автоматизированной системы, а иногда способны в принципе отговорить свое руководство от автоматизации предприятия с использованием готового решения, приобретаемого на стороне.

Как правило, сопротивление этой службы может быть вызвано несколькими причинами. С одной стороны, специалисты заказчика не хотят уронить свой авторитет в глазах руководства и слабо представляют свое место в будущей системе, если руководство всё-таки вознамерилось ее внедрить. С другой, – они недостаточно хорошо знакомы с предлагаемыми типовыми решениями и их возможностями, чтобы дать им объективную оценку. Кроме того, специалисты заказчика иногда вполне искренне считают, что смогут написать программу для автоматизации своего предприятия «с нуля» и самостоятельно, без привлечения внешних консультантов. Этот путь только поначалу кажется экономичным, но таит в себе массу опасностей. Серьёзный проект автоматизации – это сложный комплекс преобразований, который охватывает практически все структуры предприятия и который необходимо реализовать в кратчайшие сроки.

Практика и статистика показывают, что при создании силами своих программистов комплексной автоматизированной системы для всего предприятия сроки получаются самые затяжные, а качество проекта и документированность оставляют желать лучшего. Кроме того, внутренние специалисты стремятся сохранить сложившуюся структуру предприятия и бизнеса, зафиксировать и отразить в учете и управлении фактически те бизнес-процессы, которые на нём происходят, не сильно задумываясь о том, насколько оптимально они организованы. Чтобы оценить эффективность этих процессов, требуются и теоретические знания, и опыт построения автоматизированных систем подобного класса не на одном предприятии со схожими видами деятельности. У экспертов организации-заказчика этого опыта либо нет, либо, в лучшем случае, явно не хватает. Поэтому при формулировании цели и задач будущего проекта целесообразнее воспользоваться услугами внешних специалистов в области управленческого и информационного консалтинга (консультантов, внедренцев), а вот составлять техническое задание на проект и осуществлять сами работы можно совместными усилиями. Такое сочетание позволяет не только повысить эффективность деятельности предприятия в целом, но и позитивно повлиять на ход самого процесса автоматизации.

2. Создание комплексной автоматизированной системы позволяет руководству предприятия в любое время получать достоверную информацию о финансово-экономическом состоянии предприятия и его конкурентоспособности. Но эта же система жестко регламентирует и контролирует функции рядовых сотрудников, вызывает их сопротивление. Повышение нагрузки на работников, сопровождающее период проведения подобных проектов, затягивание сроков завершения при таком подходе естественно приводят к сопротивлению нововведениям со стороны ряда сотрудников, конфликтам, и как следствие – к текучести кадров. Вероятность такого исхода – аргумент в пользу создания возможностей для обучения персонала и выделения на это необходимых средств. Если создать нужную мотивацию и грамотно объяснить людям преимущества, которые они получают по завершении проекта, то обычно уровень сопротивляемости существенно снижается, и большая часть персонала охотно обучается, тем более что прохождение учебных курсов повышает квалификацию и даёт перспективы роста. Часть персонала, не способного или не желающего приобретать новые навыки, работать по-новому, руководство вынуждено переводить на другие участки или заменять. Чёткое отражение в учёте и контроле как за местами хранения ресурсов, так и за их распорядителями исключает для работника лично обогащаться незаметно для предприятия и его руководства. Многие не привыкшие работать в таких условиях сотрудники увольняются сами.

3. В ходе автоматизации вскрываются проблемные участки внутриорганизационных взаимодействий между отдельными подразделениями организации, а также внутри служб. Задержка со своевременным представлением информации одним участком, структурным подразделением мгновенно отражается на деятельности всей организации.

4. Опасение руководства, что проект не будет завершён, а затраты на него тяжёлым бременем лягут на бюджет предприятия (инвестиции впустую) скорее является следствием всех предыдущих, описанных выше факторов. Преодоление их требует значительных затрат ресурсов и средств, а ведь с течением времени и внутренняя, и внешняя ситуация для предприятия-заказчика меняется. Боязнь, что проект «подвиснет», вызывает стремление заказчика максимально сократить сроки создания и внедрения автоматизированной системы и делает разработанную специалистами технологию быстрого внедрения ещё более привлекательной и востребованной.

Все перечисленные моменты относятся к внутриорганизационным проблемам предприятия-заказчика. Они могут быть успешно преодолены при наличии четырех условий.

Во-первых, высшему руководству предприятия действительно нужна достоверная информация о состоянии предприятия, и на достижение этого результата выделены необходимые ресурсы.

Во-вторых, руководство предприятия-заказчика обеспечивает четкую управляемость своего персонала на весь период выполнения проекта: от постановки цели и задач до сдачи системы в промышленную эксплуатацию.

В-третьих, в процессе формулирования цели и задач автоматизации, а также в ходе самой автоматизации в качестве главного ориентира принимается не показная «крутизна» технического решения, а удобство для всех пользователей создаваемой системы управления предприятием. Иначе говоря, в процессе проектирования учитываются задачи каждого будущего пользователя программы, и совместно с

ним создается автоматизированное рабочее место, предоставляющее ему все условия, необходимые для максимально эффективной работы. А со стороны руководства создана система мотивации сотрудников на дополнительную (сверхурочную) работу и обучение в переходный период. Инженер-технолог отдела организации работы станций Харьковской Дирекции ЮЖД, будучи одним из потенциальных пользователей, являлся экспертом в процессе разработки системы оперативного планирования погрузочно-выгрузочных работ.

В-четвертых, со стороны заказчика проектом руководит сильный менеджер, обладающей обширными знаниями и опытом в вопросах автоматизации и управления. Человек гибкий, ответственный и дисциплинированный, быстро обучающийся, умеющий быстро принимать решения в сложных ситуациях, дальновидный, при этом общительный и способный вдохновить своими идеями весь коллектив.

При разработке АСОППВР [1] в качестве такого специалиста выступал заместитель начальника Харьковской Дирекции ЮЖД.

Таким образом, в проект автоматизации вовлечены три группы специалистов.

1. *Управленцы*. В нее входят высшие менеджеры организации и руководитель проекта. Основной функцией первых является постановка цели и задач на проект, а за руководителем проекта закрепляют функции принятия и выбора конкретных практических решений из предложенных альтернатив, организации работ, ответственность за реализацию проекта.

2. *Непосредственные исполнители работ по настройке системы и ее будущие пользователи*. В эту группу соответственно входят отдел АСУП предприятия-заказчика и рабочая группа (состоит из представителей тех групп специалистов, которые будут работать на этой системе). Здесь основными функциями отдела АСУП являются внедрение новых технологий, обучение сотрудников, а для рабочей группы - сбор информации, необходимой для создания оптимальной автоматизированной системы, одинаково удобной для всех пользователей, освоение, внедрение и опытная эксплуатация выбранного решения, выявление и коррекция ошибок.

3. *Внешние консультанты и внедрения*. К функциям этой группы можно отнести разработку технического решения, сопровождение процесса внедрения, обучение всех сотрудников предприятия-заказчика, сопровождение автоматизированной системы после сдачи ее в промышленную эксплуатацию.

Рассмотрим некоторые аспекты построения модели АСОППВР[2], касающиеся формирования регулирующего задания, возникающие с учетом перечисленных факторов и базирующиеся на теории игр[3].

Постановка задачи распределения ресурсов. При формализации постановки задачи построения модели существенными являются следующие два обстоятельства. С одной стороны, система существует для достижения каких-либо определенных целей, т. е. можно говорить об интересах системы в целом. С другой стороны, элементы системы зачастую преследуют собственные интересы, не совпадающие с интересами системы в целом. Все это дает основание формализовать некоторые аспекты ее функционирования в терминах теории игр.

Будем рассматривать простейшую двухуровневую модельную систему, состоящую из Центра и некоторого числа однотипных элементов. Управление такой системой мы рассмотрим на примере задачи распределения ресурсов. Суть этой задачи состоит в следующем. Элементы (в дальнейшем мы будем называть их

Потребителями) представляют Центру заявки на получение некоторого ресурса (для простоты рассматривается один вид ресурса). Центр на основании этих заявок распределяет имеющийся в его распоряжении ресурс (который предполагается делимым).

Если все заявки могут быть полностью удовлетворены, то Центру, по-видимому, так и следует поступить – выделить каждому Потребителю столько, сколько он просит.

Существенно сложнее ситуация дефицита, когда суммарный объем заявок превосходит имеющийся в распоряжении Центра ресурс. В этом случае, задача распределения ресурса становится нетривиальной. Универсальных рекомендаций здесь не существует. Ниже будут рассмотрены некоторые способы, механизмы, распределения ресурсов, каждый из которых обладает определенными достоинствами и недостатками.

Проведем формализацию вышеописанной задачи. Имеется n Потребителей, каждый из которых сообщает Центру число s_i ($i = 1, 2, \dots, n$) – заявку (рис. 1), а также, быть может, еще некоторую информацию (на рис. 1 обозначено пунктирной стрелкой). Далее Центр на основании заявок Потребителей, имеющегося в его распоряжении ресурса R и дополнительной информации о Потребителях вычисляет по некоторому правилу числа x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) – объем ресурса, выделяемый i -му Потребителю.

В случае $\sum_{i=1}^n s_i \leq R$ (отсутствие дефицита) естественным решением Центра является следующее: $x_1 = s_1, x_2 = s_2, \dots, x_n = s_n$ (каждый Потребитель получает столько, сколько просил).

В дальнейшем мы будем считать выполненным неравенство:

$$\sum_{i=1}^n s_i > R \text{ (суммарная заявка Потребителей превосходит ресурс Центра).}$$

Отметим следующее важное обстоятельство. Потребители формируют свои заявки на основании собственных реальных потребностей r_i , которые им известны, но неизвестны Центру. Можно сказать, что числа s_i являются стратегиями Потребителей как участников иерархической игры. В свою очередь, стратегией Центра являются числа x_i .

Механизм прямых приоритетов. Механизм прямых приоритетов относится к числу так называемых приоритетных механизмов, отличительной чертой которых является приписывание каждому Потребителю некоторого приоритета. Наряду с размерами заявок s_i ($i = 1, 2, \dots, n$) Центр учитывает приоритет каждого Потребителя, который определяется числом A_i , ($i = 1, 2, \dots, n$).

В соответствии с механизмом прямых приоритетов распределение ресурса осуществляется по правилу:

$$x_i = \min\{s_i, \gamma A_i s_i\}, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

где γ – общий для всех Потребителей параметр – определяется из условия:

$$\sum_{i=1}^n x_i = R \quad (2)$$

(весь ресурс распределяется без остатка).

Особенно простой вид формула (1) приобретает в случае «равенства» Потребителей с точки зрения Центра, т. е. при $A_1 = A_2 = \dots = A_n = 1$ (это условие не ограничивает общности, но упрощает дальнейшие выкладки). Тогда $x_i = \min\{s_i, \gamma s_i\}, (i = 1, 2, \dots, n)$, ($i = 1, 2, \dots, n$) (случай $x_i = s_i$, невозможен, так как при этом каждый Потребитель получает столько, сколько просил, а это противоречит предположению о наличии дефицита).

Из условия (2) получаем $\sum_{i=1}^n \gamma s_i = R$, откуда $\gamma = \frac{R}{\sum_{i=1}^n s_i}$.

Описанный механизм распределения ресурсов является, пожалуй, самым простым. Смысл его состоит в том, что все заявки пропорционально «урезаются» путем умножения на число γ .

Достоинства механизма прямых приоритетов очевидны. Отметим два недостатка. Во-первых, каждый Потребитель получает меньше, чем просит. Между тем нетрудно представить себе ситуацию, когда Потребителю требуется на осуществление какого-либо проекта именно s_i единиц ресурса, а $\gamma_i s_i$ уже не хватает. Во-вторых, данный механизм «толкает» Потребителей к завышению заявок в условиях дефицита. Действительно, поскольку, чем больше Потребитель просит, тем больше получает, он может, завышая свои потребности, попытаться приблизить итоговое решение Центра x_i к своим реальным потребностям r_i . Тем самым дефицит еще более возрастает, причем Центр даже не имеет возможности узнать реальные запросы Потребителей r_i , поскольку они сообщают заявки $s_i > r_i$.

Механизм обратных приоритетов. Механизм обратных приоритетов основывается на предположении, что, чем меньше требуется Потребителю ресурса, тем больше эффективность его использования. В соответствии с этим распределение ресурса осуществляется по правилу:

$$x_i = \min\{s_i, \gamma A_i / s_i\}, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

где число γ определяется, как и в механизме прямых приоритетов, из условия (2). Из формулы (3) видно, что, подавая очень малую либо очень большую заявку s_i , Потребитель получает малый ресурс x_i . Найдем, какую же заявку s_i , должен подавать i -й Потребитель, чтобы получить максимальный ресурс x_i , (в условиях дефицита такая цель Потребителя представляется вполне понятной). На рис. 1 изображен график функции $x_i = x_i(s_i)$. Видно, что максимум достигается в точке s_i^* ,

являющейся решением уравнения $s_i^* = \gamma \frac{A_i}{s_i^*}$. Преобразуя последнее равенство,

получаем $s_i^* = \gamma A_i$ и $s_i^* = \sqrt{\gamma A_i}$. Таким образом, равновесным является набор стратегий Потребителей $s_1^* = \sqrt{\gamma A_1}, s_2^* = \sqrt{\gamma A_2}, \dots, s_n^* = \sqrt{\gamma A_n}$, при

этом $x_1 = s_1^*, x_2 = s_2^*, \dots, x_n = s_n^*$.

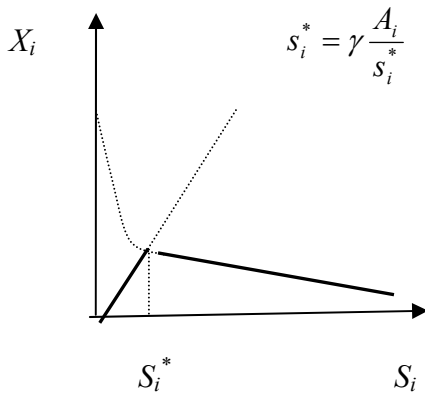


Рис. 1. Графік функції $x_i = x_i(s_i)$

Выбирая вместо s_i^* любую другую стратегию s_i , i -й Потребитель лишь уменьшает выделяемый ему ресурс x_i .

Осталось вычислить константу γ . Имеем:

$$R = \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{i=1}^n \sqrt{\gamma A_i} = \sqrt{\gamma} \sum_{i=1}^n \sqrt{A_i}, \text{ откуда } \sqrt{\gamma} = \frac{R}{\sum_{i=1}^n \sqrt{A_i}}$$

Замечание 1. Еще раз отметим, что набор стратегий s_i^* ($i = 1, 2, \dots, n$) является равновесным, т. е., подавая любую заявку $s_i \neq s_i^*$, i -й Потребитель лишь уменьшает выделяемый ему ресурс x_i . Можно доказать, что каждая из стратегий s_i^* является также гарантирующей, т. е. в случае применения i -м Потребителем этой стратегии он в любом случае (т. е. при любых заявках остальных Потребителей) получает не меньше, чем $x_i = s_i^*$.

Замечание 2. На самом деле, мы рассмотрели случай, когда $s_i^* < r_i$, для всех r_i , т. е. когда каждый из Потребителей вынужден, подавая заявку, занижать свою реальную потребность. Может быть и так, что для некоторых Потребителей $s_i^* \geq r_i$. Тогда эти Потребители подают заявку на ресурс $s_i^* = r_i$ и столько же получают.

Механизм обратных приоритетов обладает рядом достоинств. В частности, не происходит неоправданного завышения заявок, т. е. не возникает ситуации $s_i^* > r_i$. Кроме того, при условии разумного поведения Потребителей (т. е. при использовании каждым из них равновесной стратегии s_i^*) они получают столько, сколько просят. Недостатком является то, что числа s_i^* скорее всего оказываются меньше реальных потребностей r_i .

Вследствие этого Центр не получает достоверной информации о реальном дефиците $(\sum_{i=1}^n r_i) - R$.

Конкурсный механизм. Конкурсный механизм применяется в тех случаях, когда нецелесообразно «урезать» заявки, поскольку Потребителям ресурс нужен на реализацию каких-либо конкретных проектов, на которые меньшего ресурса не хватит. В этих условиях Центр проводит конкурс заявок. Те, кто побеждают в

конкурсе, полностью получают требуемый ресурс, а проигравшие не получают ничего. Реализация этого происходит следующим образом. Потребители сообщают Центру свои заявки s_i , а также величины w_i , характеризующие *эффект*, который они намереваются получить. На основании этих данных Центр вычисляет для каждого Потребителя показатель *эффективности*:

$$e_i = \frac{w_i}{s_i}, i = 1, 2, \dots, n$$

После этого ресурс распределяется следующим образом. Сначала рассматривается Потребитель с наибольшей эффективностью. Ему выделяется столько, сколько он просит (если у Центра хватает ресурса). Затем берется второй по эффективности и т. д. В какой-то момент оказывается, что на удовлетворение очередной заявки оставшегося у Центра ресурса не хватает. Тогда этот потребитель, равно как и все оставшиеся, ничего не получает.

Замечание. В эффективности описанного механизма могут возникнуть сомнения. Ведь Потребители могут пообещать большой эффект, получить ресурс, а затем не выполнить обещанного. Поэтому при реальном применении конкурсного механизма необходима действенная система контроля (возможно, поэтапный контроль для проектов с длительным временем реализации).

Механизм открытого управления. Во всех рассмотренных выше механизмах распределения ресурсов Потребители могут добиться лучшего для себя решения Центра путем искажения информации. Таким образом, Центр не получает достоверных данных о запросах Потребителей.

Возможность эффективно управлять на основании недостоверной информации представляется, вообще говоря, сомнительной. Поэтому интересны механизмы открытого управления, идея которых заключается в создании для Потребителей стимулов к сообщению в заявке своих реальных потребностей.

Опишем один из возможных механизмов открытого управления. Распределение ресурсов проводится в несколько этапов. На первом этапе ресурс разделяется поровну между всеми Потребителями, т. е. по R/n каждому. Если заявки каких-либо Потребителей оказались не больше чем R/n , то они полностью удовлетворяются. Тем самым число Потребителей уменьшается до n_1 , уменьшается и ресурс Центра – до R_1 . На втором этапе ресурс разделяется поровну между оставшимися n_1 Потребителями и т. д.

На каком-то этапе оказывается, что, разделив ресурс поровну между оставшимися Потребителями, не удастся удовлетворить ни одной заявки.

Тогда все эти Потребители получают поровну.

Описанный механизм является механизмом открытого управления. Действительно, в конечном счете, все Потребители делятся на приоритетных (которые получили столько, сколько просили) и неприоритетных.

Приоритетные получают столько, сколько просят, поэтому им не имеет смысла исказить свои реальные потребности. Неприоритетные же, как нетрудно видеть, не могут увеличить выделенный им ресурс ни повышая, ни понижая свою заявку. Таким образом, при распределении ресурсов в соответствии с описанным механизмом Центр получает достоверную информацию о реальных запросах Потребителей.

Открытое управление и экспертный опрос. Если требуется определить объем финансирования крупного проекта, то часто прибегают к проведению экспертного

опроса. Рассмотрим следующую процедуру опроса. Каждому из n экспертов предлагается сообщить число s из отрезка $[d; D]$, после чего на основании экспертных оценок определяется итоговое решение x . Задача состоит как раз в том, чтобы определить число x , исходя из заданных s_i , ($i = 1, 2, \dots, n$).

На первый взгляд кажется, что наилучшее решение здесь – взять в качестве итогового решения среднее арифметическое мнений экспертов:

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i \quad (4)$$

Однако у такого решения есть существенный недостаток. Дело состоит в следующем. У каждого эксперта есть мнение r_i относительно объема финансирования. И если эксперт каким-либо образом заинтересован в том, чтобы итоговая оценка x совпала с его мнением r_i , то он может попытаться добиться этого совпадения, сообщая оценку $s_i \neq r_i$.

Замечание. В теории коллективного принятия решений такой способ действий называется манипулированием. В свою очередь, если механизм коллективного принятия решений допускает манипулирование с чьей-либо стороны, то он называется манипулируемым. Искажая свои истинные предпочтения, можно приблизить итоговое коллективное решение к собственному истинному предпочтению.

Вернемся к экспертному опросу. Говоря более строго, i -й эксперт решает задачу $|x - r_i| \rightarrow \min_{s_i}$, т. е. пытается минимизировать разность между итоговым решением x и своим истинным мнением r_i , путем надлежащего выбора сообщаемой оценки s_i . Опишем механизм выработки решения x^* , являющийся механизмом открытого управления (т. е. неманипулируемым механизмом). Напомним, что эксперты сообщают свои оценки $s_i \in [d, D]$, $i = 1, 2, \dots, n$. Будем считать, не ограничивая общности, что оценки экспертов расположены по неубыванию: $s_1 \leq s_2 \leq \dots \leq s_n$ (этого всегда можно добиться перенумерацией экспертов). Вычисляются n вспомогательных чисел $v_i = D - (i - 1) \frac{D - d}{n}$, $i = 1, 2, \dots, n$ (эти числа делят отрезок $[d, D]$ на n равных частей). После этого для каждого i берется меньшее из двух чисел s_i и v_i : $\min \{s_i, v_i\}$. И, наконец, из всех этих минимумов выбирается наибольший, который и является итоговым решением:

$$x^* = \max_{1 < i < n} \min \{s_i, v_i\}$$

Замечание. Во всех предыдущих рассуждениях квалификация экспертов предполагается одинаковой. Можно в случае необходимости вводить коэффициенты, позволяющие учитывать мнение разных экспертов различным образом – принципиально это ничего не меняет, лишь несколько усложняется вычисление итогового результата x^* .

Влияние человеческого фактора при создании и внедрении автоматизированных систем трудно переоценить. Нельзя забывать, что при существующих технологиях затраты времени и труда на планирование весьма существенны, а качество планирования не в полной мере отвечает поставленным требованиям.

Предлагаемая методика планирования регулировочных заданий, по мнению авторов, значительно повысит эффективность системы управления перевозочным процессом на дороге.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Самсонкин В. Н., Меркулов В. С.* Концепция построения автоматизированной системы оперативного планирования погрузочно-выгрузочных работ и ведения штатного расписания в регионе дороги. – *Залізничний транспорт України*, 2008. – № 3. С. 6-10.
2. *Самсонкин В. Н., Меркулов В. С.* Моделирование информационных потоков АСОППВР. – *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, 2009. – № 5. – С. 8-13.
3. *Дж. фон Нейман, О. Моргенштерн.* Теория игр и экономическое поведение. – М.: «НАУКА» 1970. – 983 с.
4. *Ломкова Е. Н., Эпов А. А.* Экономико-математические модели управления производством (теоретические аспекты): Учеб. пособие / ВолгГТУ. – Волгоград, 2005.– 67 с
5. *Глуценко В. В., Глуценко И. И.* Разработка управленческого решения. Прогнозирование – планирование - оценка. Теория проектирования экспертов: Учебник для ВУЗов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 436 с.

УДК 629.42

Олена Сорочинська

ЄВРОПЕЙСЬКІ СТАНДАРТИ У СФЕРІ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Стисло проаналізовано основні європейські стандарти у сфері охорони праці. Розглянуто особливість сучасного міжнародно-правового регулювання праці та його вплив на національну політику та законодавство України. Було визначено деякі основні функції, що притаманні структурним рівням системи охорони праці в країнах членах ЄС порівняно з Україною.

Кратко проанализированы основные европейские стандарты в сфере охраны труда. Рассмотрена особенность современной международно-правовой регуляции труда и его влияние на национальную политику и законодательство Украины. Были определены некоторые основные функции, что присущи структурным уровням системы охраны труда в странах членах ЕС, в сравнении с Украиной.

The basic European standards are shortly analysed in the field of labour protection. The feature of the modern mizhnarodno-pravovogo adjusting of labour and his influence is considered on a national policy and legislation of Ukraine. Some basic functions were certain, that the inherent structural levels systems of labour protection are in countries members of ES, in comparing to Ukraine.

Ключові слова: охорона праці, європейські стандарти, нормативно-правові акти з охорони праці, трудовий кодекс, законодавство України.

В системі захисту основних прав і свобод людини у сфері охорони праці і трудових відносин, соціального забезпечення та встановлення відповідного рівня їх правових гарантій є міжнародні норми про працю.

Впродовж кількох десятків років формування єдиної концепції міжнародного трудового права ускладнювалось функціонуванням двох полярних правових систем, які юридично закріплювали основи існуючого суспільно-економічного ладу в тій чи іншій державі. У зв'язку з цим в трактуванні найбільш гострих і важливих питань у сфері міжнародного регулювання праці виникли деякі суперечності і розбіжності. Процес політичного і соціально-економічного «роззброєння» поступово формує єдиний підхід у сфері міжнародного регулювання праці, сприяє інтенсивній та ефективній імплементації найбільш прогресивних норм з однієї правової системи в іншу. Головним завданням і водночас надбанням сучасного трудового права є встановлення єдиної системи міжнародних трудових стандартів та взаємоузгодження трудової політики держав щодо правового регулювання праці та трудових відносин. У сучасній Україні відбуваються складні процеси

© Сорочинська О. Л., 2011

реформування правової системи, в тому числі і у сфері трудового права. Прийняття нового Трудового кодексу України має сприяти захисту прав людини в сфері праці, його норми повинні відповідати реаліям сучасного життя та враховувати загальноєвропейські тенденції щодо гармонізації трудових правовідносин.

Розглянемо особливість сучасного міжнародно-правового регулювання праці та його вплив на національну політику та законодавство України. Після другої світової війни почалось інтенсивне усвідомлення світовою спільнотою вагомості і значення проблеми прав людини та їхнього захисту, цінності людського життя і здоров'я та необхідності задоволення соціально-економічних потреб. Почали створюватися численні міжнародні організації, до компетенції яких входять вироблення мінімальних необхідних стандартів, обов'язкових правил поведінки, залучення різних спеціалістів для вирішення питань, що пов'язані з впливом на держави, які порушують закріплені стандарти поведінки, надання різноманітної допомоги державам, що її потребують. Поступово питання охорони і захисту праці людини вийшло за межі кожної окремої держави і перетворилось із суто внутрішньої у міжнародну проблему. Відтак, виникла потреба у створенні універсальних міжнародно-правових стандартів у сфері охорони праці, які відображені у низці важливих міжнародно-правових актів, що встановлюють загальнолюдські стандарти прав та інтересів особи, визначають той рівень, який повинна забезпечити кожна держава, у тому числі у такій важливій сфері державного і громадського життя як охорона праці.

І, як наслідок, національне правове регулювання права на охорону праці також зазнало впливу міжнародно-правових стандартів. На сьогодні вже загальновизнано, що право людини на охорону праці, у якій би державі вона не жила, перебуває під захистом світової спільноти і є досягненням усієї цивілізації. Конвенції Міжнародної організації праці теж вміщують стандарти, які тією чи іншою мірою стосуються охорони здоров'я. Наприклад, ст. 10 Конвенції МОП 1952 р. №102 «Про мінімальні норми соціального забезпечення здоров'я» визначає мінімальний перелік медичних послуг, які мають бути надані, у тому числі і за рахунок страхування. Відповідно до ст. 13 Конвенції МОП 1969 р. №130 «Про медичну допомогу і допомогу у зв'язку із захворюванням» громадян кожної з країн, що ратифікували цей документ, повинні одержувати принаймні такі види медичної допомоги: загальну лікарську допомогу, зокрема допомогу на дому; допомогу, яку надають спеціалісти стаціонарним або амбулаторним хворим, і допомогу спеціалістів, яка може бути надана за межами лікарні; відпуск необхідних медикаментів за рецептом лікаря або іншого кваліфікованого спеціаліста; госпіталізацію у разі потреби; стоматологічну допомогу, якщо це передбачено національним законодавством; медичну реабілітацію, у тому числі надання, ремонт і заміну протезів або ортопедичних засобів, якщо це передбачено національним законодавством [1, с. 7].

Адаптація законодавства України до законодавства ЄС полягає у зближенні із сучасною європейською системою права та передбачає реформування вітчизняної правової системи та поступове приведення до відповідності із європейськими стандартами законодавства у всіх сферах, у тому числі законодавства про охорону праці. Згідно з Указом Президента «Про затвердження Стратегії інтеграції України до Європейського Союзу» від 11 червня 1998 р. адаптація соціальної політики України полягає у реформуванні систем страхування, охорони праці, здоров'я та інших галузей соціальної політики відповідно до стандартів ЄС і поступовому

досягненні загальноєвропейського рівня соціального забезпечення та захисту населення.

Розглянемо міжнародні стандарти в сфері охорони праці. Стандарт – це визначення очікуваної (отримуваної) якості, утверджена модель, яка є основою процесу оцінки [2, с. 36], документ, що складений у результаті консенсусу спеціалістів, схвалений спеціалізованою організацією і спрямований на досягнення оптимального ступеня впорядкованості у даній сфері [3, с. 3].

У кожній галузі державного і суспільного життя є свої вимоги до стандартів, у тому числі і у сфері охорони праці. Однак, передусім доцільно звернути увагу на стандарти прав людини. П. Рабинович вказує на необхідність уточнення змісту поняття міжнародного стандарту прав людини, зокрема європейського. За його визначенням, європейські стандарти прав людини – це зафіксовані у юридичних актах та документах європейських міжнародних організацій принципи й норми стосовно прав і свобод людини, призначені слугувати орієнтирами для відповідної внутрішньодержавної юридичної практики [4, с. 21].

У найближчому майбутньому Україну чекає інтеграція з політичними та економічними євроатлантичними структурами. Підвищення рівня охорони праці та промислової безпеки, запобігання аваріям і нещасним випадкам на виробництві, посилення профілактики виробничого травматизму та професійної захворюваності вимагає подальшого адаптування нормативно-правових актів до європейського і міжнародного законодавства, а також використання світового науково-практичного досвіду й поглиблення міжнародного співробітництва у сфері охорони праці.

Вибір Україною стратегічного курсу на інтеграцію до ЄС і перспектива вступу до Світової Організації Торгівлі обумовлює нагальну потребу гармонізації національного законодавства до законодавства ЄС [5]. У підписаній в Люксембурзі Угоді про партнерство та співробітництво між ЄС та Україною, яка набула чинності з 1 березня 1998 року, визначено, що охорона праці, захист життя і здоров'я людей, технічні регламенти та стандарти в цій галузі є пріоритетними галузями законодавства, де необхідно досягти адекватності законів. У червні 2003 року Україна разом із представниками 178 країн-членів Міжнародної організації праці (МОП), організацій працівників і роботодавців прийняла нову Глобальну стратегію охорони праці, яка ставить за мету впровадження ефективного управління системою охорони праці на національному рівні [6].

Поліпшення систем охорони праці та промислової безпеки в країнах – членах ЄС – обумовлене впровадженням за останні роки низки законодавчих і нормативних актів. Оновлення національних систем охорони праці з урахуванням європейського законодавства стосується, насамперед, нових учасників, законодавство яких має адекватно відображати загальноєвропейські положення у сфері охорони праці. Правову систему ЄС можна вважати наднаціональною правовою системою, якій притаманні особливі риси. Держави – члени ЄС – обмежили свій суверенітет і делегували частину власних повноважень співтовариству, які у межах визначених повноважень видають законодавчі акти, обов'язкові для держав-учасниць. Основою законодавства ЄС у сфері охорони праці є рамкові директиви. Відповідно до статті 189 Римської угоди, директива зобов'язує будь-яку із зазначених вище держав досягати визначеного директивою результату, але залишає за національними органами право вибирати методи й засоби його досягнення. Директиви з охорони праці визначають мінімальні вимоги з можливістю для держав-учасниць відступати від мінімальних вимог, однак лише в бік їх перевищення [7].

В Україні основним законом у сфері охорони праці є Закон про охорону праці, Кодекс законів про працю України та Закон про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань, які призвели до втрати працездатності. Необхідність впровадження змін до чинного закону ґрунтується не тільки на орієнтації України в бік ЄС, а й на тому факті, що чинне законодавство та його принципи не завжди відповідають сучасним реаліям і фактично не забезпечують створення законодавчих засад цілковитої безпеки й захисту здоров'я працівників в умовах робочого середовища, адекватних ЄС. Законодавство і сформульована ним система охорони праці та промислової безпеки повинні містити загальноєвропейську концепцію охорони праці, в основі якої покладено принципи «пріоритетності заходів з охорони праці» та «забезпечення максимально можливого захисту в передбачуваних умовах робочого середовища» (досягнення безпечного та нешкідливого середовища, оцінювання ризиків та їх превентивне попередження, пристосування робочого середовища до індивідуальних потреб працівників тощо). Основний національний законодавчий акт повинен передавати основні принципи та положення загальноєвропейського рамкового законодавства, визначеного низкою директив з охорони праці. До таких директив у сфері охорони праці належить рамкова Директива 89/391/ЄЗС щодо заходів із забезпечення безпеки та здоров'я працівників на робочому місці. З нею пов'язані спеціальні директиви 89/654/ЄЗС, 89/655/ЄЗС, 89/656/ЄЗС, 90/269/ЄЗС, 90/270/ЄЗС, 90/394/ЄЗС, 90/679/ЄЗС, 92/57/ЄЗС, 92/58/ЄЗС, 92/85/ЄЗС, 92/91/ЄЗС, /104/ЄЗС та 93/103/ЄЗС. Прийняття сучасного національного законодавства щодо охорони праці та промислової безпеки, його гармонізація з відповідним законодавством ЄС є значним кроком уперед, але недостатнім із точки зору досягнення ефективної роботи системи охорони праці на загальнонаціональному рівні; вкрай важливо досягти впровадження та ефективного фактичного застосування законодавства на рівні окремих підприємств. Забезпечення відповідного й ефективного розвитку системи охорони праці на державному рівні та дійове її впровадження на рівні кожного окремого підприємства та галузі промисловості дає можливість створити безпечні й нешкідливі умови праці для працівників через запобігання професійним захворюванням, травмуванням, подовження періоду активної працездатності працівників тощо. Для забезпечення впровадження нормативних актів у сфері охорони праці та промислової безпеки, а також поліпшення дієвості цих положень особливо важливою є гармонійна, скоординована й ефективна співпраця структур, задіяних у системі охорони праці, інтерактивна взаємодія з роботодавцями та працівниками, заходи щодо роз'яснення та поширення положень, які стосуються безпечної життєдіяльності працівника в умовах виробничого середовища. Загалом в європейській системі охорони праці можна виділити три взаємопов'язані структурні рівні, що створюють цю систему:

- рівень формування національної політики в сфері охорони праці (профільне міністерство);
- рівень впровадження та контролю (державні інституції з функціями контролю, наприклад, Державна інспекція праці в Німеччині й Латвії);
- рівень підприємств і організацій, на якому практично здійснюються заходи з охорони праці.

Визначимо деякі основні функції, притаманні структурним рівням системи охорони праці в країнах – членах ЄС, порівняно з Україною.

Чільне місце у визначенні напрямів розвитку сфери охорони праці в країнах-учасниках посідає профільне міністерство, яке відповідає за політику, розвиток, планування та координацію системи охорони праці. До функцій профільного міністерства як головної організації в системі охорони праці, належать:

- розвиток національної політики охорони праці та забезпечення її системного впровадження;
- розробка національних законодавчих актів з охорони праці та забезпечення їх відповідності законодавству ЄС і міжнародному законодавству в цій сфері;
- впровадження заходів створення безпечних і нешкідливих робочих середовищ, захист прав працівників щодо охорони праці та соціального захисту;
- забезпечення процесу розвитку системи управління охороною праці та промисловою безпекою;
- забезпечення інформування роботодавців і працівників щодо положень з охорони праці та промислової безпеки.

Якщо проаналізувати, то в Україні аналогічні функції зараз закріплено за Міністерством України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, яке їх успішно виконує.

Основними завданнями державної контролюючої служби (в Україні частину таких функцій надано Державному комітету промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду України) є:

- контроль за впровадженням вимог нормативних актів з охорони праці;
- контроль за дотриманням зобов'язань за трудовими контрактами та колективними договорами;
- забезпечення порозуміння між працедавцем і працівником, а також вирішення спірних питань між ними в межах визначеної законодавством компетенції;
- здійснення досліджень і загальна реєстрація нещасних випадків на робочих місцях, дослідження випадків професійних захворювань відповідно до процедур, визначених законодавством;
- реєстрація потенційно небезпечного устаткування;
- контроль обладнання в робочих середовищах, утилізація індивідуальних і колективних засобів захисту, небезпечних і шкідливих речовин, обстеження технологічних процесів згідно з чинними нормативними актами;
- моніторинг ринку устаткування, робочих машин, засобів індивідуального та колективного захисту;
- забезпечення безкоштовних консультацій роботодавців, працівників і власників потенційно небезпечного устаткування відповідно до вимог чинних нормативних актів у сфері професійних відношень, охорони праці та технічного нагляду за потенційно небезпечним устаткуванням;
- організація національного центру Європейської агенції охорони праці та забезпечення її діяльності.

На рівні підприємств головним суб'єктом відповідальності за впровадження вимог щодо охорони праці є роботодавець. Головні завдання, які повинен забезпечувати роботодавець у системі охорони праці на рівні підприємства, такі:

- організація та забезпечення функціонування системи охорони праці на підприємстві через оцінювання чинників ризику робочого середовища, планування

превентивних заходів щодо ризиків, проведення внутрішнього моніторингу робочого середовища, встановлення організаційної структури охорони праці та консультації з працівниками для залучення їх із метою поліпшення охорони праці;

– забезпечення дій, необхідних для здійснення першої допомоги;

– обмеження або ліквідація шкідливих і небезпечних чинників, характерних для устаткування та робочого середовища, пожежогасіння, евакуації працівників й іншого персоналу;

– забезпечення інструктажу та тренування працівників і відповідальних за охорону праці осіб;

– забезпечення обов'язкового нагляду за здоров'ям працівників. Міжнародно-правові стандарти регулювання часу відпочинку містяться в актах Міжнародної організації праці та ООН. Щодо актів Організації Об'єднаних Націй, то слід зазначити, що вони містять загальні норми, що стосуються часу відпочинку. Так, Загальна Декларація прав людини (ст. 24) обмежується проголошенням права кожної людини на відпочинок та дозвілля і на оплачувану періодичну відпустку. Міжнародний пакт про економічні, соціальні і культурні права (п. «д» ст. 7) зобов'язує держави, які ратифікували цей пакт визнати право кожного на відпочинок, дозвілля, оплачувану періодичну відпустку так само як і винагороду за святкові дні [5, с. 201]. На сьогодні діють дві Конвенції МОП (№ 52 і № 132), які стосуються щорічних оплачуваних відпусток. Перша Конвенція частково є застарілою, і більшість розвинутих країн ратифікували більш пізню за часом Конвенцію № 132, яка врахувала розвиток світового законодавства після другої світової війни (Україною ця Конвенція ратифікована 29.05.2001 року) [6, с. 256]. Згідно з Конвенцією № 52 (набула сили 22 вересня 1939 року), кожна особа, до якої застосовується ця конвенція, має право після безперервної роботи тривалістю один рік на щорічну оплачувану відпустку, тривалістю принаймні 6 днів. Особи, віком до 16 років, включаючи учнів, мають право на щорічну оплачувану відпустку тривалістю принаймні 12 робочих днів. До відпустки не включаються святкові дні і перерви в роботі через хворобу. Національне законодавство може дозволити поділ щорічної оплачуваної відпустки, але лише в тій частині, яка перевищує мінімальну тривалість, встановлену Конвенцією. Тривалість відпустки збільшується пропорційно тривалості стажу роботи на основі правил, встановлених у національному законодавстві [5, с. 202]. Кожна особа, яка йде у відпустку, отримує відпускні, які дорівнюють звичайній винагороді. Порядок їх обчислення визначається національним законодавством чи колективними договорами. Будь-яка угода, яка виключає право на щорічну оплачувану відпустку, має бути визнана недійсною. Національне законодавство може передбачати, що особа, яка буде зайнята на оплачуваній роботі протягом своєї щорічної відпустки, позбавляється оплати за період відпустки. Особа, звільнена з вини підприємця, має право на компенсацію за невикористану відпустку. Конвенція № 132 застосовується до всіх осіб, які працюють за наймом, за винятком моряків. Вона встановлює, що кожна особа, до якої вона застосовується, має право на мінімальну 3-тижневу оплачувану відпустку за кожен рік роботи. Мінімальний період роботи, необхідний для отримання права на відпустку, не повинен перевищувати 6 місяців. Неділя і святкові дні, а також час хвороби до відпустки не включаються. За час відпустки повинні виплачуватися відпускні, рівні принаймні середній заробітній платі. В Конвенції передбачено можливість поділу відпустки на частини, але при цьому тривалість однієї частини не може бути меншою двох тижнів. Безперервна частина

відпустки надається не пізніше, ніж протягом року, залишок щорічної відпустки – не пізніше, ніж протягом року, залишок щорічної відпустки – не пізніше, ніж протягом 18 місяців, рахуючи з кінця того року, за який надавалася відпустка. Будь-яка частина щорічної відпустки може бути відкладена за згодою зацікавленої особи на період, що не перевищує певну межу. При визначенні періоду при наданні відпустки слід враховувати вимоги роботи і можливості для відпочинку у працівників, які працюють за наймом. Відсутність на роботі з таких причин, як хвороба, нещасний випадок на виробництві чи відпустка по вагітності і пологах, зараховується до стажу роботи. Працівник, який пропрацював мінімальний час, необхідний для надання відпустки, і який звільняється з роботи, має право отримати після припинення роботи оплачувану відпустку, пропорційну тривалості його роботи, чи замість цього йому має бути виплачена компенсація. Згода про відмову від права на мінімальну щорічну оплачувану відпустку чи про невикористання такої відпустки із заміною грошовою компенсацією визнається недійсною або забороняється. Національне законодавство може встановлювати спеціальні правила стосовно тих випадків, коли особа, що працює по найму займається в період відпустки оплачуваною діяльністю, яка протирічить меті відпустки, тобто самому відпочинку, відновленню сил [7].

Отже, Конвенція № 132 до визначення поняття щорічної відпустки вносить такі елементи: 1) певний безперервний проміжок часу роботи протягом року (ст. 4 Конвенції №132 визначає «рік», як календарний рік або інший період такої ж тривалості, що встановлюється компетентними органами влади або іншими відповідними органами кожної країни; 2) тривалість щорічної відпустки не може бути зменшена у випадку хвороби працівника, нещасного випадку або відпустки у зв'язку з вагітністю і пологами; 3) за особою, яка скористалась правом на відпустку, згідно Конвенції зберігається нормальна або середня заробітна плата (ст. 7 Конвенції). Важливим є те, що безперервна частина оплачуваної відпустки повинна бути використана не пізніше, ніж протягом одного року, а залишок можна використати не пізніше вісімнадцяти місяців з кінця того року, за який була надана відпустка. Тобто сутність цієї норми полягає в тому, що відпустка повинна використовуватись щороку для того, щоб відпочити від виконання своїх трудових обов'язків з метою відновлення працездатності та втрачених фізичних і розумових сил.

Ці розглянуті акти МОП про щорічні оплачувані відпустки поширюються на основну частину осіб, які працюють по найму. У сільському господарстві і на морському транспорті діють спеціальні конвенції МОП, які і встановлюють особливі правила про відпустки. Щодо регулювання відпусток моряків застосовується Конвенція про щорічні оплачувані відпустки морякам № 146 від 29.10.1976 року [8]. У Конвенції про оплачувані відпустки морякам встановлюється мінімальна тривалість відпустки (не менше 30 календарних днів за один рік роботи), коло осіб, яким надаються ці відпустки, та виплата за цей період грошової компенсації – «винагороди» (ст. 7 Конвенції № 146 про оплачувані відпустки морякам, 1976 р.)

Рекомендація № 93 про оплачувані відпустки в сільському господарстві від 4 червня 1952 року встановлює мінімальну тривалість оплачуваної відпустки – один тиждень за рік безперервної роботи, а також для молоді віком до 16 років та учнів, мінімальна тривалість відпустки становить два робочі тижні за рік безперервної праці, за менший термін роботи (безперервної) відпустка надається в пропорційному розмірі [9].

Проаналізувавши низку міжнародно-правових актів стосовно регулювання щорічних оплачуваних відпусток, можна зробити висновок про те, що Конвенції МОП не дають визначення поняття «відпустка» або «щорічна оплачувана відпустка». Розвиток науково-технічного прогресу та зміни структури економічних та соціальних відносин вимагає відповідного регулювання учбових відпусток для одержання освіти і підготовки спеціалістів, які б відповідали вимогам та потребам суспільства, що постійно змінюється. Один із засобів задоволення цих потреб як суспільства в цілому, так і окремого громадянина є тимчасове звільнення працівників від їх трудових обов'язків та надання їм вільного часу для здобуття освіти. Генеральною Конференцією МОП, яка зібралась 5 червня 1974 року, було прийнято низку положень про оплачувані відпустки, які знайшли своє відображення в Конвенції МОП № 140 про оплачувані навчальні відпустки [3] і Рекомендацією № 148 [10].

У Конвенції № 140 термін «оплачувана учбова відпустка» означає відпустку, яка надається працівникові з метою навчання на визначений період у робочий час з виплатою відповідної грошової допомоги. Захистом трудових прав працівників є те, що за час перебування у відпустці в зв'язку з навчанням працівникові гарантується оплата, а також те, що період оплачуваної учбової відпустки прирівнюється до періоду фактичної роботи, що є підставою для встановлення права на соціальну допомогу та інших, похідних від трудових правовідносин прав. Ця норма закріплена в ст. 11 Конвенції МОП № 140 про оплачувані учбові відпустки [10, 11]. Держави зобов'язуються розробляти і здійснювати політику, спрямовану на сприяння наданню оплачуваних навчальних відпусток для професійної підготовки на будь-якому рівні; загальної, соціальної чи цивільної освіти; профспілкового навчання [5, с. 202]. Крім зазначених конвенцій, питання відпусток врегульовано в Конвенції № 3 про зайнятість жінок до та після пологів від 29.10.1919 року, яка була переглянута у 1952 році. Конвенцією № 103 про охорону материнства (набрала чинності 7.09.1955 року). Відповідно до Конвенції № 3 тривалість відпустки у зв'язку з вагітністю та пологами складає 12 тижнів (6 тижнів до та 6 тижнів після пологів). Жінка має право на отримання грошового утримання та медичної допомоги. Положення Конвенції № 3 поширюється на промислові і торгові підприємства. Конвенція МОП № 103, прийнята у 1952 році застосовується до жінок, зайнятих на промислових підприємствах та на непромислових і сільськогосподарських роботах, включаючи домогосподарок. Відповідно до цієї Конвенції мінімальна тривалість відпустки у зв'язку з вагітністю та пологами – 12 тижнів, зокрема тривалість обов'язкової відпустки після пологів повинна складати не менше, ніж 6 тижнів. Відпустка може бути подовжена у випадку помилки при встановленні дати пологів або у випадку хвороби, причиною якої є вагітність або пологи. Крім того, Конвенцією № 103 передбачено надання грошового утримання та допомоги за рахунок засобів системи обов'язкового соціального страхування або за рахунок державних фондів. Коли сума грошових утримань, які надаються за рахунок засобів обов'язкового соціального страхування, обчислюється на підставі попереднього заробітку, вона складає не менше 2/3 попереднього заробітку жінки. Підприємець не несе особистої відповідальності за витрати у зв'язку з видачею таких утримань [12].

З усіх згаданих вище міжнародно-правових актів Україною ратифіковані Конвенція МОП № 132 «Про оплачувані відпустки» (ратифікована із заявою

Законом від 29.05.2001 р. № 2481-III), Конвенція про оплачувані учбові відпустки № 140 (ратифікована Законом № 174-IV від 26.09.2002 р.). При цьому національним законодавством про працю враховані положення міжнародних Конвенцій МОП, тобто відтворено більшість положень у сфері надання відпусток, які відповідають міжнародним стандартам.

Отже, Європейське законодавство з охорони праці дає можливість забезпечити охорону праці на достатньо високому рівні. Однак наголошуємо на тому, що кожна держава повинна самостійно турбуватися про вирішення цього питання, і тому в нашій країні слід активізувати роботу з узгодження вимог, законів та нормативно-правових актів відповідно директивам ЄС. Незмінним у будь-якому разі для України залишається ідея європейського законодавства про те, що прийняття рішень щодо заходів із поліпшення має здійснюватися з урахуванням умов праці безпосередньо на робочому місці. Прийняття сучасного національного законодавства щодо охорони праці та промислової безпеки, його гармонізація з відповідним законодавством ЄС є значним кроком уперед, але недостатнім із точки зору досягнення ефективної роботи системи охорони праці на загальнонаціональному рівні; вкрай важливо досягти впровадження та ефективного фактичного застосування законодавства на рівні окремих підприємств. Забезпечення відповідного й ефективного розвитку системи охорони праці на державному рівні та дійове її впровадження на рівні кожного окремого підприємства та галузі промисловості дає можливість створити безпечні й нешкідливі умови праці для працівників через запобігання професійним захворюванням, травмуванням, подовження періоду активної працездатності працівників тощо. Для забезпечення впровадження нормативних актів у сфері охорони праці та промислової безпеки, а також поліпшення дієвості цих положень особливо важливою є гармонійна, скоординована й ефективна співпраця структур, задіяних у системі охорони праці, інтерактивна взаємодія з роботодавцями та працівниками, заходи щодо роз'яснення та поширення положень, які стосуються безпечної життєдіяльності працівника в умовах виробничого середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України від 14 вересня 2006 року «Про ратифікацію Європейської соціальної хартії (переглянутої)» // Відомості Верховної Ради України. – 2006. – № 43. – С. 418.
2. Хартія Європейського Союзу об основных правах: комментарий / Отв. ред. Кашкин С.Ю. – М.: Юриспруденция, 2001. – 208 с.
3. Европейская конвенция про защиту прав человека и основоположных свобод от 4 октября 1950 г. / Международные акты о правах человека. Сборник документов. – М.: Издательская группа НОРМА – ИНФРА. – М., 2000. – С. 539-551.
4. Ніщський договір та розширення ЄС / М-во юстиції України. Центр порівняльного права / За наук. ред. С. Шевчука. – К.: Логос, 2001. – С. 177.
5. Конституція України від 28 червня 1998 року // Відомості Верховної Ради України. – 1996. – № 30. – С. 141.
6. Закон України «Про міжнародні договори України» від 29 червня 2004 року // Відомості Верховної Ради України. – 2004. – № 50. – С. 540.
7. Стратегія інтеграції України до Європейського Союзу, затверджена Указом Президента України від 11 червня 1998 року // Урядовий кур'єр. – 1998. – 18 червня.
8. Загальнодержавна програма адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу, затверджена Законом України від 18 березня 2004 року // Урядовий кур'єр України. – 2004. – 20 квітня.
9. Закон України «Про ратифікацію Конвенції про захист прав людини і основоположних свобод 1950 року, Першого протоколу та протоколів № 2, 4, 7 та 11 до Конвенції» від 17 липня 1997 року //

Відомості Верховної Ради України. – 1997. – №40. – С. 263.

10. Віденська конвенція про правонаступництво держав щодо договорів від 23.08.1978 // Действующее международное право в 3 томах, том 1, М.: МНИМП, 1996 год.

11. Международный пакт об экономических, социальных и культурных правах. Принятой и открытой для подписания, ратификации и присоединения резолюцией 2200 А (III) Генеральной Ассамблеи от 16 декабря 1966 г. // Международные акты о правах человека. Сборник документов. М.: Изд. Группа норма – ИНФРАМ., 2000. – 784 с.

12. Всеобщая декларация прав человека. Принята и провозглашена резолюцией 217 А (III) Генеральной Ассамблеи от 10 декабря 1948 г. // Международные акты о правах человека. Сборник документов. М.: Изд. Группа норма – ИНФРАМ., 2000. – 784 с.

УДК 656.2

Олексій Прищепчук

**ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО РІШЕННЯ ЩОДО
ВПРОВАДЖЕННЯ ШВИДКІСНОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХУ
В СИСТЕМУ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

Вибране оптимальне рішення щодо впровадження швидкісного залізничного руху в систему пасажирських перевезень при прийнятих обсягах інвестицій. В дослідженні використано метод динамічного програмування, застосовано принцип оптимальності Беллмана.

Выбрано оптимальное решение по внедрению скоростного железнодорожного движения в системе пассажирских перевозок при принятых объемах инвестиций. В исследовании использован метод динамического программирования, применен принцип оптимальности Беллмана.

Selected optimal solution for implementing speed railway traffic system in passenger traffic in the adopted investment. The study used the method of dynamic programming, applied the principle of optimality of Bellman.

Ключові слова: швидкісний залізничний рух, пасажирські перевезення, метод динамічного програмування, принцип оптимальності Беллмана.

Постановка проблеми загалом та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Українські залізниці знаходяться на порозі суттєвих змін щодо покращення комфортності перевезень пасажирів та підвищення якості наданих послуг до європейського рівня. Разом з тим необхідні значні кошти для реалізації поставлених завдань. Саме тому треба вибрати оптимальні рішення щодо впровадження швидкісного залізничного руху в систему пасажирських перевезень. Підвищення швидкостей руху пасажирських поїздів пов'язане з державними програмами розвитку залізничного транспорту [1, 2], а також з масштабними загальнонаціональними планами з проведення фінальної частини чемпіонату Європи з футболу «Євро 2012».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні засади застосування методу динамічного програмування викладені в посібниках В.М. Акулінічева і А.Б. Каплана [3, 4]. У дослідженнях Н.А. Воробйова, Б.В. Лашутіна і В.К. Суворова [5] подана методика оптимального розподілу пасажирських і вантажних потоків на паралельних залізничних лініях, яка заснована на методі динамічного програмування. Дослідження А.А. Єрофєєва ґрунтуються на виборі оптимального варіанта поїздоутворення для довільної кількості станцій і стратегії поїздоутворення для полігону в цілому методом динамічного програмування [6].

© Прищепчук О. В., 2011

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Вибір оптимальних критеріїв впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів потребує значних досліджень аналізу та синтезу розвитку мережі залізниць України. Разом з тим, в наукових дослідженнях даної проблематики, недостатньо використано математичних методів і моделей розвитку швидкісного залізничного руху. Тому вирішено дослідити впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів методом динамічного програмування.

Формулювання цілей статті. Вибрати оптимальне рішення (стратегію) розвитку швидкісного руху пасажирських поїздів на 2008-2015 роки. Дослідити програму впровадження швидкісного залізничного руху [1].

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Загальні положення. Динамічне програмування – один з методів рішення екстремальних задач, пов'язаних з оптимізацією управління виробничими процесами. Залежності, що використовуються в динамічному програмуванні, можуть бути задані будь-яким способом (графіками, таблицями тощо). Характерні особливості задач динамічного програмування:

- неоднозначність результатів (багатоваріантність рішення);
- можливість ділення обчислювального процесу на етапи (етапність рішення);
- загальний критерій – сума часткових критеріїв на етапах (адитивність критерію).

За допомогою динамічного програмування вирішуються задачі, пов'язані з процесами, які можна розділити на деяке число етапів (кроків). Оптимізація управління на кожному етапі окремо не забезпечує оптимізації процесу в цілому. Якщо число етапів і можливих рішень на кожному етапі (управлінні) обмежене, то оптимальне рішення в цілому (оптимальну стратегію) можна знайти перебором всіх можливих варіантів. Проте у багатьох випадках такий шлях неприйнятний внаслідок дуже великої кількості варіантів. Динамічне програмування дозволяє, не порушуючи строгості рішення, зменшити число розглянутих варіантів. Ідея полягає в тому, що відшукування екстремального значення функції багатьох змінних замінюється багаторазовим відшукуванням екстремальних значень функції одного чи декількох змінних. Для цього обчислювальний процес ділиться на етапи. Вибирають таке рішення задачі, яке дозволяє оптимізувати даний етап.

Оскільки процес закінчується на останньому етапі, оптимальне рішення не повинне враховувати наступного ходу. Якщо знайти його для всіх ситуацій, які можуть скластися до початку останнього етапу, то можна знайти оптимальне рішення і для передостаннього етапу, тобто буде отримана оптимальна стратегія для двох останніх кроків. Якщо вона відобразить ситуації, які можуть скластися до початку передостаннього етапу, то можна приступити до пошуку оптимального рішення також на попередньому етапі. Таким чином, процес обчислення протікає у зворотному напрямі, від кінця до початку. На кожному етапі знаходять деяку множину умовно-оптимальних рішень, вибір яких залежить від рішення вже на попередньому етапі. Безперервна послідовність таких рішень на всіх етапах виражає одне з можливих рішень задачі в цілому (допустиму стратегію). Зіставляючи допустимі стратегії, вибирають дійсно оптимальну залежно від початкового стану системи (процесу) і, повторюючи процес обчислення вже від

початку до кінця, виділяють на кожному етапі оптимальні рішення, як складові оптимальної стратегії.

Принцип оптимальності вперше сформульований і доведений Беллманом: оптимальна стратегія, починаючи з будь-якого етапу, залежить не від попередньої стратегії, а лише від перебування системи на даному етапі і подальшій стратегії, тобто від рішень на подальших етапах.

Можлива і геометрична інтерпретація задачі динамічного програмування (рис. 1).

Вертикальним лініям відповідають моменти часу, в які розглядають досліджувану задачу. У початковий момент $t_0=0$ процес (система) знаходиться в одному з можливих початкових станів, множина яких відповідає множині точок A_i . Початковий стан може бути заданий або областю можливих станів, або одним, конкретним значенням, в нашому випадку чотирма A_1, A_2, A_3 и A_4 . Також вважатимемо для простоти, що в кожен момент часу система знаходиться також в одному з чотирьох можливих станів, які показані точками на відповідних вертикалях. Кінцевий стан системи – одна з чотирьох точок B_1, B_2, B_3, B_4 .

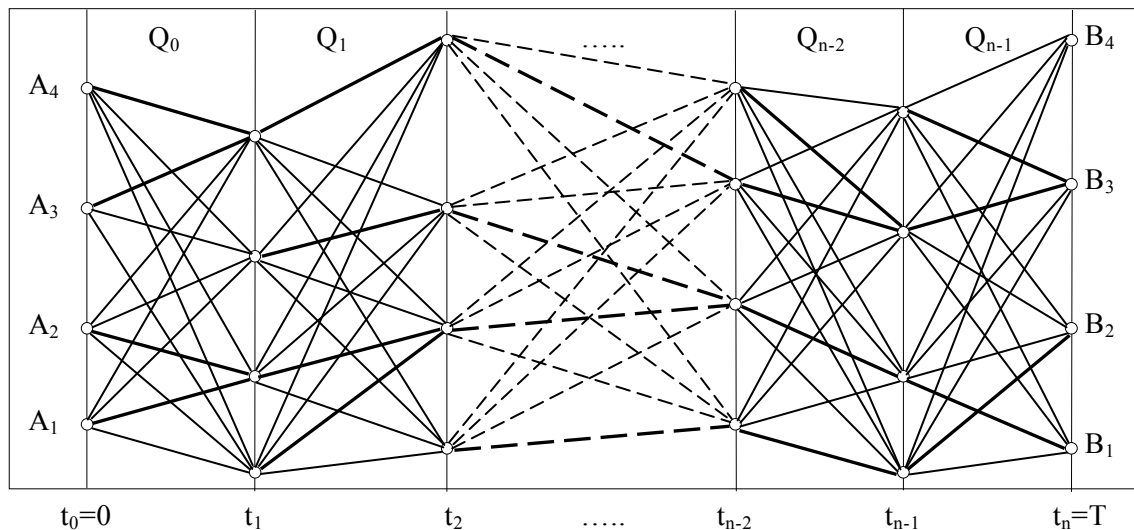


Рис. 1. Геометрична інтерпретація задачі

Система переводиться з початкового стану в наступне за допомогою функції переходу, яку ще називають управлінням системи на даному етапі. Для кожного з можливих станів існує своя функція переходу (чи деяка їх множина), яка переводить систему в деяку множину станів в наступний момент часу. Ця функція – кількісна характеристика переходу в наступний стан залежно від попереднього – виражає або виграш, або витрати. Оскільки значення функції переходу залежить від попереднього $x(i)$ і від подальшого $x(i+1)$ станів системи, її можна записати в загальному вигляді так: $Q_i \{x(i); x(i+1)\}$.

Кожна допустима стратегія виражається ламаною лінією, з'єднуючи вертикаль $t_0=0$ з вертикаллю $t_n=T$. Вона складається з набору управлінь на кожному етапі, тобто їй можна зіставити число $F = \sum_{i=0}^{n-1} Q_i \{x(i); x(i+1)\}$. Оптимальній стратегії

відповідає ламана з найменшим значенням F . Отже, поставлену задачу можна сформулювати в такому вигляді: необхідно із усіх допустимих ламаних, таких, що з'єднують вертикаль $t_0=0$ з вертикаллю $t_n=T$, вибрати таку, якій відповідає найменше значення F .

Вирішують задачу в такому порядку. Для всіх можливих станів системи на початку останнього етапу $x(n-1)$ визначають оптимальне управління – вибирають функцію переходу в один з кінцевих станів з мінімальним значенням. Переходи, що відповідають мініимальному значенню Q_{n-1} для кожного стану $x(n-1)$, показано на рис. 1 жирною лінією. Таким чином, в якій би точці не опинилася система на початку останнього етапу, завжди можна запропонувати оптимальну стратегію для переведення її в кінцевий стан, отримати ряд умовно-оптимальних рішень. Умова оптимальності кожного такого рішення – стан системи на початку даного періоду.

Тепер для кожного стану системи на початку передостаннього етапу $x(n-2)$ можна визначити умовно-оптимальні стратегії для переведення в один з кінцевих станів вже по загальному мінімуму функцій переходу на двох останніх етапах: $\min(Q_{n-2} + Q_{n-1})$. При цьому значення Q_{n-1} вже відомі в результаті попередніх обчислень. Потім аналогічно визначають умовно-оптимальні стратегії на трьох останніх етапах за умовою $\min(Q_{n-3} + Q_{n-2} + Q_{n-1})$, причому сума $(Q_{n-2} + Q_{n-1})$ вже відома. Розрахунки продовжують до того часу, поки не буде пройдений весь процес у зворотному напрямі.

Кожна з отриманих ламаних (жирна лінія) відповідає умовно-оптимальній стратегії для всього процесу. Оскільки множині початкових станів системи відповідає множина точок на вертикалі t_0 , кожній умовно-оптимальній стратегії відповідає свій початковий стан системи (точка, з якої вона виходить). Таким чином, умовно-оптимальна стратегія буде оптимальною за умови, що початковий стан системи знаходиться у відповідній

точці. Кожна умовно-оптимальна стратегія оцінюється значенням $F = \min \sum_{i=0}^{n-1} Q_i$. По

ньому можна вибрати початковий стан системи і залежно від нього остаточно визначити оптимальну стратегію, тобто, пройшовши процес вже від початку до кінця, встановити на кожному етапі оптимальні рішення.

Принцип оптимальності Беллмана в цій інтерпретації задачі динамічного програмування означає: оптимальний шлях з будь-якої точки, що відображає стан системи в який-небудь момент часу, не залежить від траєкторії, що веде в цю точку. Тому для визначення оптимального рішення в цілому необхідно завжди знаходити оптимальне продовження процесу щодо стану, досягнутого в результаті рішення на попередньому етапі.

Математична постановка задачі з отриманням наукових результатів. Стан деякої розвиваючої системи в кожен дискретний момент часу $t = 0, \dots, T$ характеризується множиною точок $x_t^{(1)}, x_t^{(2)}, \dots, x_t^{(n)}$, сукупність яких – вектор $x(t) = (x_t^{(1)}, x_t^{(2)}, \dots, x_t^{(n)})$, називається вектором стану системи. Позначимо множину всіх станів системи (вектор станів) у момент часу $t = m$ через x_m ; стан її в початковий момент $t = 0$ вважається заданим $x(0) = x_0$. Розвиток системи полягає в послідовному переході з одного стану в інший. На

нього можна впливати в кожен момент часу t певним управлінням $u(t)$, вибраним із множини можливих управлінь. Таким чином, стан системи $x(t+1)$ визначається, з однієї сторони, вектором $x(t)$ і, з іншої – управлінням $u(t)$:

$$x(t+1) = f\{x(t), u(t)\}. \quad (1)$$

Функція f задає правило переходу від стану $x(t)$ в стан $x(t+1)$ залежно від управління $u(t)$. Множина управлінь, кожне з яких можна вибрати у момент $t = m$, позначимо через U_m . Розвиток системи визначається послідовністю $x = \{x(0), x(1), \dots, x(T)\}$, де $x(m) \in X_m$ – вектор стану системи при $t = m$. Ця послідовність називається *стратегією*. Стратегія допустима, якщо існують управління, що дозволяють робити перехід з будь-якого її стану в наступний. Кожна стратегія оцінюється функцією цілі $F(x)$. Таким чином, розвиток системи описується:

- множиною допустимих станів системи X_m ;
- множиною допустимих управлінь U_m ;
- правилами переходу із одного стану в інший за вибраним управлінням $x(m+1) = f\{x(m), u(t)\}$;
- функцією цілі $F(x)$.

Необхідно знайти допустиму стратегію, що забезпечує мінімум (максимум) функції цілі. Останню в загальному випадку задають сумою оцінних функцій $Q_m\{x(m), x(m+1)\}$, отриманих при кожному переході із станів x_m в стан $x(m+1)$:

$$F(x) = \sum_{m=0}^{T-1} Q_m\{x(m); x(m+1)\}. \quad (2)$$

Функцію цілі можна вважати функцією від управління, оскільки будь-яку допустиму стратегію x повністю визначає послідовність допустимих управлінь $u = (u_0, u_1, \dots, u_{T-1})$. Таким чином, задачу динамічного програмування можна сформулювати так: необхідно визначити послідовність управлінь $u^* = (u_0^*, u_1^*, \dots, u_{T-1}^*)$, що мінімізує функцію цілі:

$$F\{x(u)\} = \sum_{m=0}^{T-1} Q_m\{x(m); x(m+1)\}. \quad (3)$$

при умовах:

$$\left. \begin{aligned} x(m+1) &= f\{x(m), u(m)\}; \\ x(m) &\in X_m; x(0) = x_0; \\ u(m) &\in U_m; m = 0, 1, \dots, T-1. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Позначимо через $F_k\{x(k)\}$ максимальне значення функціонала $\sum_{m=0}^{T-1} Q_m$ для $\{x(m)\}; \{u(m)\}; m = k+1, \dots, T$, що задовольняють умовам задачі. Тоді, застосовуючи послідовно принцип оптимальності до функцій F_1, F_2 і т. д., можна написати систему рівнянь:

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

$$\begin{aligned}
 F_0 \{x(0)\} &= \min_{u(0)} [Q_0 \{x(0), x(1)\} + F_1 \{x(1)\}] \\
 F_1 \{x(1)\} &= \min_{u(1)} [Q_1 \{x(1), x(2)\} + F_2 \{x(2)\}] \\
 &\dots\dots\dots \\
 F_i \{x(i)\} &= \min_{u(i)} [Q_i \{x_i, x(i+1)\} + F_{i+1} \{x(i+1)\}] \\
 &\dots\dots\dots \\
 F_{T-1} \{x(T-1)\} &= \min_{u(T-1)} [Q_{T-1} \{x(T-1), x(T)\}]
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$F_i \{x(i)\}$ називаються функціями Беллмана.

Оптимальна стратегія розвитку залізничних пасажирських перевезень передбачає збільшення швидкостей руху поїздів, а відтак скорочення часу пасажирів при оптимальних витратах (коштів державного бюджету, кредитів).

Вартість робіт, пов'язаних з впровадженням швидкісного руху пасажирських поїздів наведено в табл. 1 [1]. Оптимальний розподіл коштів на основних напрямках мережі залізниць України [1] наведено на рис. 2.

Таблиця 1

Вартість робіт для реалізації швидкісного залізничного руху, млн грн

Етап	Напрямок, дільниця	Роки							
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	Київ–Полтава, у т. ч.:								
	Київ–Полтава	1750	957	772	–	–	–	–	–
2	Київ–Полтава–Донецьк, в т. ч.:								
	Полтава–Красноград	423	594	551	–	–	–	–	–
	Красноград–Лозова	388	945	675	363	–	–	–	–
	Лозова–Донецьк	206	618	711	872	–	–	–	–
	Київ–Полтава–Дніпропетровськ, у т. ч.:								
	Красноград–Дніпропетровськ	130	316	602	399	–	–	–	–
3	Київ–Полтава–Харків, у т. ч.:								
	Красноград–Харків	251	410	640	287	–	–	–	–
	Київ–Жмеринка–Львів, у т. ч.:								
	Київ–Жмеринка	0	0	372	761	961	–	–	–
	Жмеринка–Львів	106	177	595	1260	773	–	–	–
Київ–Жмеринка–Одеса, у т. ч.:									
	Жмеринка–Одеса	232	418	804	1101	243	–	–	–
4	Київ–Сімферополь, у т. ч.:								
	Лозова–Сімферополь	–	–	–	–	743	1733	1562	1192

Розрахунок оптимального рішення щодо впровадження швидкісного залізничного руху в систему пасажирських перевезень методом динамічного програмування:

$$Q_{2015}^4 = 1192.$$

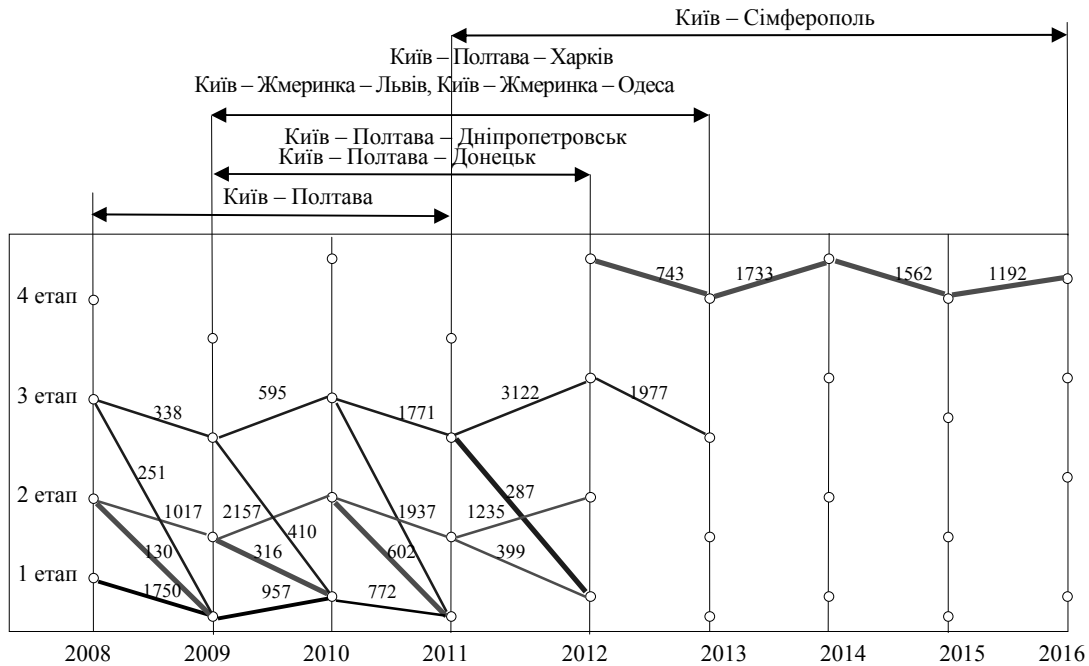


Рис. 2. Оптимальний розподіл коштів на основних напрямках мережі залізниць України

$$F_{2014} = \min(Q_{2014} + Q_{2015}) :$$

$$F_{2014}^4 = \min(1592 + Q_{2015}^4) = \min(1562 + 1192) = 2754; Q_{2014}^4 = 1562.$$

$$F_{2013} = \min(Q_{2013} + F_{2014}) :$$

$$F_{2013}^4 = \min(1733 + F_{2014}^4) = \min(1733 + 2754) = 4487; Q_{2013}^4 = 1733.$$

$$F_{2012} = \min(Q_{2012} + F_{2013}) :$$

$$Q_{2012}^3 = 1977.$$

$$F_{2012}^4 = \min(743 + F_{2013}^4) = \min(743 + 4487) = 5230; Q_{2012}^4 = 743.$$

$$F_{2011} = \min(Q_{2011} + F_{2012}) :$$

$$F_{2011}^2 = \min(399; 1235) = 399; Q_{2011}^2 = 399.$$

$$F_{2011}^3 = \min(287; 3122 + Q_{2012}^3) = \min(287; 3122 + 1977) = 287; Q_{2011}^3 = 287.$$

$$F_{2010} = \min(Q_{2010} + F_{2011}) :$$

$$Q_{2010}^1 = 772.$$

$$F_{2010}^2 = \min(602 + F_{2011}^1; 1937 + F_{2011}^2) = \min(602; 1937 + 399) = 602; Q_{2010}^2 = 602.$$

$$F_{2010}^3 = \min(640 + F_{2011}^1; 1771 + F_{2011}^3) = \min(640; 1771 + 287) = 640; Q_{2010}^3 = 640.$$

$$F_{2009} = \min(Q_{2009} + F_{2010}) :$$

$$F_{2009}^1 = \min(957 + Q_{2010}^1) = \min(957 + 772) = 1729; Q_{2009}^1 = 957.$$

$$F_{2009}^2 = \min(316 + Q_{2010}^1; 2157 + F_{2010}^2) = \min(316 + 772; 2157 + 602) = 1088; Q_{2009}^2 = 316.$$

$$F_{2009}^3 = \min(410 + Q_{2010}^1; 595 + F_{2010}^3) = \min(410 + 772; 595 + 640) = 1182; Q_{2009}^3 = 410.$$

$$F_{2008} = \min(Q_{2008} + F_{2009}):$$

$$F_{2008}^1 = \min(1750 + F_{2009}^1) = \min(1750 + 1729) = 3479; Q_{2008}^1 = 1750.$$

$$F_{2008}^2 = \min(130 + F_{2009}^1; 1017 + F_{2009}^2) = \min(130 + 1729; 1017 + 1088) = 1859; Q_{2008}^2 = 130.$$

$$F_{2008}^3 = \min(251 + F_{2009}^1; 338 + F_{2009}^3) = \min(251 + 1729; 338 + 1182) = 1520; Q_{2008}^3 = 338.$$

Починаючи з першої точки, і рухаючись послідовно неперервною ламаною жирною лінією до останньої точки, визначимо оптимальну стратегію (оптимальні рішення) для всього процесу і на кожному елементі:

$$\begin{aligned} F &= Q_{2008}^2 + Q_{2009}^2 + Q_{2010}^2 + Q_{2011}^3 + Q_{2012}^4 + Q_{2013}^4 + Q_{2014}^4 + Q_{2015}^4 = \\ &= 130 + 316 + 602 + 287 + 743 + 1733 + 1562 + 1192 = 6565 \text{ млн. грн.} \end{aligned}$$

Висновки з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку у даному напрямку. Вибране оптимальне рішення щодо впровадження швидкісного залізничного руху в систему пасажирських перевезень за рахунок оптимізації критерію «вартість» на період 2008-2015 роки. Оптимальна вартість впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів становить 6565 млн. грн. Важливими напрямками мережі залізниць України на 2008-2015 роки є міста-учасники проведення чемпіонату з футболу Євро-2012 (Київ–Львів, Київ–Донецьк, Київ–Харків), міста-мегаполіси України. Метод динамічного програмування, який застосовується в даному дослідженні, заслуговує на подальше використання, його модифікацію при вирішенні питань оптимізації критеріїв для впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів.

ЛІТЕРАТУРА

1. НДР «Державна цільова програма впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2008-2015 роки» (реєстраційний номер 0107Ш07457).
2. Семирічна програма системного впровадження прискорених денних поїздів: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://levukrtrans.9bb.ru>.
3. Математические методы в эксплуатации железных дорог / Под ред. В. М. Акулиничева. – М.: Транспорт, 1981. – 223 с.
4. Математическое моделирование экономических процессов на железнодорожном транспорте / Под ред. А. Б. Каплана. – М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
5. Н. А. Воробьев, Б. В. Лащутин, В. К. Суворов. Методика распределения грузовых и пассажирских потоков на параллельных линиях: труды ЦНИИ МПС. Вып. 403; Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1969. – 160 с.: рис., табл. – Библиогр.: с. 156-158.
6. Ерофеев А. А. Выбор оптимального варианта поездообразования на полигоне методом динамического программирования // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 4. – С. 11-15.

УДК 658.336:007:681.3.06

Володимир Ковальов

СИСТЕМА ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В ЛОКАЛЬНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

У статті розглядаються основні особливості захисту інформації в інформаційно-обчислювальних мережах, наводиться аналіз несанкціонованого доступу та способи вирішення можливих проблем щодо захисту цілісності комп'ютерної мережі.

В статье рассматриваются основные особенности защиты информации в информационно-вычислительных сетях, приводится анализ несанкционированного доступа и способы решения возможных проблем по защите целостности компьютерной сети.

The article reviews the main features of protection of information in computer networks, an analysis of the unauthorized access and how to solve potential problems in protecting the integrity of a computer network.

Ключові слова: захист інформації, несанкціонований доступ, вимоги до захисту інформації.

ВСТУП

Завдання забезпечення інформаційної безпеки в даний час є особливо актуальним. Це пов'язано із широким впровадженням комп'ютерних систем передачі, збереження й обробки інформації. Комп'ютерні системи застосовуються у всіх галузях промисловості, фінансових операціях тощо. Проблема забезпечення інформаційної безпеки і захисту інформації у зв'язку з тенденцією об'єднання локальних комп'ютерних мереж у глобальну мережу і використання її як середовища передачі інформації при взаємодії різних офісів чи представництв великого підприємства набуває особливого значення. Використання ресурсів мережі Internet при організації такої взаємодії дозволяє здійснювати централізоване керування всією інформаційною інфраструктурою підприємства і швидко передавати дані між представництвами, що знаходяться в різних країнах.

Практика експлуатації і розширення таких систем ведеться за принципом послідовного приєднання з забезпеченням інформаційної прозорості. Це означає, що наявний парк комп'ютерів поєднується мережею. Нові ж робочі станції включаються безпосередньо в мережу через

комутатори чи за допомогою віддаленого доступу. Як правило, проблема інформаційної безпеки при цьому не вирішується.

1. Аналіз способів несанкціонованого доступу до локальної обчислювальної мережі

Для оцінки інформаційної безпеки та вразливих місць інформаційної системи розглянемо можливі способи несанкціонованого доступу до інформаційних ресурсів.

Під несанкціонованим доступом до інформації мають на увазі такий доступ, що порушує правила використання інформаційних ресурсів комп'ютерної системи, встановлені для її користувачів.

Обчислювальні системи є територіально розподілені комп'ютерні мережі, які поєднують за допомогою каналів зв'язку різні комп'ютери і локальні мережі. Вразливість таких систем істотно перевищує вразливість автономних комп'ютерів. Це пов'язано, насамперед, з відкритістю і масштабністю комп'ютерних мереж, що використовуються на залізниці. Відповідно існує чимало способів атак на ці комп'ютерні мережі.

Усі можливі способи несанкціонованого доступу до інформації в комп'ютерних системах, що захищаються, можна класифікувати за такими ознаками:

1. За принципом несанкціонованого доступу: фізичний несанкціонований доступ, логічний несанкціонований доступ.

Фізичний несанкціонований доступ може бути реалізований одним з таких способів: подолання рубежів територіального захисту і доступ до незахищених інформаційних ресурсів, розкрадання документів і носіїв інформації, візуальне перехоплення інформації, виведеної на екрани моніторів і принтери, а також підслуховування, перехоплення електромагнітних випромінювань.

Логічний несанкціонований доступ припускає логічне подолання системи захисту ресурсів активної комп'ютерної мережі. З огляду на те, що переважна більшість інформації може бути реалізована лише у процесі функціонування обчислювальної системи, а також те, що логічний несанкціонований доступ є найбільш результативним для зловмисника, він і буде основним предметом аналізу. Способи фізичного несанкціонованого доступу далі розглядатися не будуть.

2. За розташуванням джерела несанкціонованого доступу: несанкціонований доступ, джерело якого розташоване у локальній мережі, несанкціонований доступ, джерело якого розташоване поза локальною мережею.

3. За режимом виконання несанкціонованого доступу: атаки, що проводяться при постійній участі людини; атаки, що проводяться спеціально розробленими програмами без особистої участі людини.

4. За несанкціонованим доступом: атаки, орієнтовані на використання прямого стандартного шляху доступу до комп'ютерних ресурсів, атаки;

орієнтовані на використання прихованого нестандартного шляху доступу до комп'ютерних ресурсів.

5. За безпосереднім місцем розташування кінцевого об'єкта атаки: на інформацію, що зберігається на зовнішніх запам'ятовуючих пристроях, на інформацію, передану по лініях зв'язку, атаки на інформацію, оброблювану в основній пам'яті комп'ютера.

6. За безпосереднім об'єктом атаки: на політику безпеки і процес адміністративного керування, на постійні компоненти системи захисту, на змінні елементи системи безпеки, напади на протоколи взаємодії, напади на функціональні елементи комп'ютерної системи.

2. Вимоги до системи захисту інформації в локальних обчислювальних мережах

Доцільно виділити такі групи вимог до систем захисту інформації: загальні вимоги, організаційні вимоги, конкретні вимоги до підсистем захисту, технічного і програмного забезпечення, документування, способів, методів і засобів захисту.

Загальні вимоги

Насамперед необхідна повна ідентифікація користувачів, терміналів, програм, а також основних процесів і процедур. Крім того, варто обмежити доступ до інформації, використовуючи сукупність таких способів: ієрархічна класифікація доступу, класифікація інформації по важливості і місцю її виникнення, зазначення обмежень до інформаційних об'єктів, наприклад, користувач може здійснювати лише читання файлу без права запису в нього, визначення програм і процедур, наданих лише конкретним користувачам.

Як правило, загальні вимоги характеризуються: за способами побудови СЗІ або її окремих компонентів (до програмного, програмно-апаратного, апаратного), архітектурою ІС, застосуванням стратегії захисту, витратами ресурсів на забезпечення СЗІ, надійністю функціонування СЗІ, кількістю ступенів таємності інформації, підтримуваних СЗІ, забезпеченням швидкості обміну інформацією в ІС, у тому числі з обліком використовуваних криптографічних перетворень, кількістю підтримуваних СЗІ рівнів повноважень, можливостями СЗІ обслуговувати певну кількість користувачів, тривалістю процедури генерації програмної версії СЗІ, тривалістю процедури підготовки СЗІ до роботи після подачі живлення на компоненти ІС, можливістю СЗІ реагувати на спроби несанкціонованого доступу, або на «небезпечні ситуації», наявністю і забезпеченням автоматизованого робочого місця адміністратора захисту інформації в ІС, складу використовуваного програмного і лінгвістичного забезпечення, до його сумісності з іншими програмними платформами, до можливості модифікації тощо, використовуваними закупленими компонентам СЗІ (наявність ліцензії, сертифіката і т.п.).

Організаційні вимоги

Організаційні вимоги до системи захисту передбачають реалізацію сукупності адміністративних і процедурних заходів. Вимоги щодо забезпечення схоронності мають виконуватися, насамперед, на адміністративному рівні. Організаційні заходи, проведені з метою підвищення ефективності захисту інформації, повинні передбачати такі процедури: обмеження несупроводжуваного доступу до обчислювальної системи, здійснення контролю за зміною в системі програмного забезпечення, виконання тестування і верифікації змін у системі програмного забезпечення і програмах захисту, організація і підтримання взаємного контролю за виконанням правил захисту даних, обмеження привілею персоналу, що обслуговує ІС, здійснення запису протоколу про доступ до системи, гарантія компетентності обслуговуючого персоналу, розробка послідовного підходу до забезпечення схоронності інформації для всієї організації, організація чіткої роботи служби стрічкової і дискової бібліотек, комплектування основного персоналу на базі інтегральних оцінок і необхідних знань, організація системи навчання і підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Вимоги до підсистем захисту інформації

Доцільно СЗІ умовно розділити на підсистеми: керування доступом до ресурсів ІС (містить також функції керування системою захисту в цілому), реєстрація й облік дій користувачів (процесів), криптографічна підсистема, забезпечення цілісності інформаційних ресурсів і конфігурації ІС.

Підсистема керування доступом має забезпечувати: ідентифікацію, аутентифікацію і контроль за доступом користувачів (процесів) до системи, терміналів, вузлів мережі, каналів зв'язку, зовнішніх пристроях, програм, каталогів, файлів, записів і т.д.; керування потоками інформації, очищення областей, що звільняються, оперативної пам'яті і зовнішніх накопичувачів.

Підсистема реєстрації й обліку виконує: реєстрацію й облік доступу до ІС, видачу вихідних документів, запуск програм і процесів, доступ до файлів, що захищаються; передачу даних по лініях і каналах зв'язку, реєстрацію зміни повноважень доступу, створення об'єктів доступу, що підлягають захисту, облік носіїв інформації, оповіщення про спроби порушення захисту.

Криптографічна підсистема передбачає: шифрування конфіденційної інформації, шифрування інформації, що належить різним суб'єктам доступу (групам суб'єктів), з використанням різних ключів, використання атестованих (сертифікованих) криптографічних засобів.

Підсистема забезпечення цілісності здійснює: забезпечення цілісності програмних засобів і оброблюваної інформації, фізичну охорону засобів обчислювальної техніки і носіїв інформації, наявність адміністратора (служби) захисту інформації в ІС, періодичне тестування СЗІ, наявність засобів відновлення СЗІ, використання сертифікованих засобів захисту, контроль за цілісністю, оперативне відновлення функцій СЗІ після збоїв,

тестування засобів захисту інформації, виявлення і блокування поширення вірусів, резервне копіювання програмного забезпечення і даних, контроль доступу до інформації, що дає впевненість у тому, що тільки авторизований користувач використовує наявні робочі програми й інформацію, контроль дій з персональною авторизацією, що забороняє операції, які роблять операційне середовище вразливим, захист програмного забезпечення, що виключає ушкодження інсталюваних програм, використання тільки ліцензійного програмного продукту з метою забезпечення захисту від вбудованих модулів руйнування інформаційного середовища і дискредитації систем захисту, захист комунікацій для забезпечення неприступності переданої інформації.

Вимоги до технічного забезпечення

У цій групі формулюються вимоги за такими параметрами: місцеві застосування засобів захисту, способами їхнього використання, розмірами контрольованої зони безпеки інформації, необхідна величина показників захищеності, що враховує реальну обстановку на об'єктах ІС, застосування способів, методів і засобів досягнення необхідних показників захищеності, проведення спеціальної перевірки технічних об'єктів ІС, метою якої є виявлення спеціальних електронних (заставних) пристроїв.

Вимоги до програмного забезпечення

Програмні засоби захисту інформації повинні забезпечувати контроль доступу, безпеку і цілісність даних і захист самої системи захисту. Для цього слід виконати такі умови: об'єкти захисту повинні ідентифікуватися в очевидному вигляді при використанні паролів, пропусків і ідентифікації по голосу; система контролю доступу має бути досить гнучкою для забезпечення різноманітних обмежень і різних наборів об'єктів, кожен доступ до файлу даних чи пристрою повинен простежуватися через систему контролю доступу для того, щоб фіксувати і документувати будь-яке звертання.

Вимоги до документування

Можна виділити три групи вимог до документування системи захисту інформації. Це протоколювання, тестування програм і обробка погроз. Основні специфічні вимоги: необхідність записів будь-якого руху даних, що захищаються, можливість відтворення при необхідності ретроспективи використання об'єкта, що захищається, для реалізації якої забезпечується запам'ятовування станів програми і навколишнього середовища, нагромадження статистики по протоколах використання інформації в системі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кулаков Ю. А., Луцкий Г. М. Компьютерные сети. – К.: Юниор, 1998. – 380 с.
2. Бэрри Ханс. Компьютерные сети / Пер. с англ. – К.: Бином, 1995. – 214 с.

АВТОРИ СТАТЕЙ ВИПУСКУ

Андрейцев Андрій Юрійович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Афанасов Андрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електрорухомий склад залізниць» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В.Лазаряна.

Бамбура Ольга Василівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Белевцова Наталя Леонідівна – кандидат технічних наук, професор кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Брайковська Надія Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Вагони», проректор з науково-педагогічної роботи Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Возненко Анатолій Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», декан факультету «Інфраструктура і рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Гудіменко Катерина Володимирівна – аспірантка Національного транспортного університету.

Данилевський Володимир Ілліч – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Тяговий та рухомий склад», проректор з наукової роботи Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Дорошенко Олександра Юріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Дорошенко Олександра Юріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Дорошенко Юрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Будівельні матеріали та хімія» Національного транспортного університету.

Дьомін Юрій Васильович – доктор технічних наук, професор, ДП «Науково-дослідний центр залізничного транспорту України».

Іванов Вадим Борисович – кандидат технічних наук, доцент Національного транспортного університету.

Іщенко Вадим Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Калинюк Ірина Олександрівна – аспірант, старший викладач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Ковальов Володимир Володимирович – начальник Центру інформаційних систем Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Косенко Віталій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Загальне машинознавство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Крюков Микола Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Кулешов Володимир Петрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Лобас Леонід Григорович – доктор фізико-математичних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, член-кореспондент ТАНУ, дійсний член Нью-Йоркської академії наук, професор кафедри «Теоретична і прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Лобас Людмила Геннадіївна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Луїна Тетяна Олексіївна – аспірант кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту, старший викладач кафедри природних і технічних дисциплін Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного.

Мельничук Андрій Васильович – заступник начальника Головного пасажирського управління Укрзалізниці.

Меркулов Віктор Сергійович – доцент кафедри «Обчислювальна техніка та системи управління» Української державної академії залізничного транспорту.

Міхно Наталія Леонідівна – інженер-програміст Центру дистанційного навчання Київського національного економічного університету ім. В. Гетьмана.

Наконечна Світлана В'ячеславівна – аспірант, викладач кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Осколков Олександр Григорович – інженер кафедри «Менеджмент» Національного транспортно університету.

Осьмак Віктор Євгенійович – старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Прищепчук Олексій Володимирович – аспірант кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Самсонкін Валерій Миколайович – доктор технічних наук, професор, директор ДП «Науково-дослідний центр залізничного транспорту України».

Сорока Ольга Олексіївна – аспірантка кафедри «Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Сорочинська Олена Леонідівна – кандидат історичних наук, старший викладач кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Слизовська Лариса Володимирівна – провідний економіст Південно-Західної залізниці.

Смирнов Ігор Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Інженерія поверхні» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Стецько Антон Анатолійович – викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Сущенко Іван Петрович – головний технолог ПрАТ «Львівський локомотиворемонтний завод», здобувач Державного економіко-технологічного університету транспорту»

Тарасюк Василь Миколайович – заступник головного технолога ВАТ «Київський електровагоноремонтний завод».

Пугачов Геннадій Семенович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Чистяков Валерій Васильович – доктор технічних наук, професор КНУБА.

Шургея Анзор Гівович – начальник лабораторії Мостозагону.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ РУКОПИСІВ

Вимоги щодо підготовки рукописів статей для публікації у «Збірнику наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту» (далі – Збірник) розроблені з урахуванням Постанови Президії ВАК від 15.01.2003 р. № 7-05/1.

1. До друку у Збірнику приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: анотацію та ключові слова трьома мовами (українська, російська, англійська), постановка проблеми у загальному та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку в даному напрямі.

2. Стаття має відповідати тематичному спрямуванню журналу і бути завізована власноручно підписом автора. **Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.** Надіслана поштою та неправильно оформлена автором стаття, що не відповідає вимогам, розглядатися та друкуватися не буде.

Разом з текстом статті (два примірники) і дискетою 3,5 дюйма із записаним текстом, до редколегії Збірника подаються:

- рецензія на статтю;
- акт експертизи;
- витяг з протоколу засідання кафедри чи лабораторії або наукового підрозділу, що рекомендує статтю до друку;
- довідка про авторів (прізвища, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, учене звання, почесне звання, місце роботи, посада, номери телефонів);
- заява з підписами авторів про те, що надіслана стаття не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань.

3. Матеріал треба викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно. Терміни та позначення повинні відповідати чинним стандартам. Не допускаються повтори, а також зайві подробиці при переказі раніше опублікованих відомостей – замість цього подаються посилання на літературні джерела. Одиниці виміру слід подавати лише за міжнародною системою одиниць SI чи в одиницях, допущених до застосування в Україні згідно з вимогами чинних державних стандартів.

4. В анотації має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обґрунтована її актуальність (обсяг до 8 – 10 рядків).

5. Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Таблиці мають бути пронумеровані й мати заголовок. Відповідальність за наведені показники несе автор.

6. Текстові матеріали готують і друкують на аркушах білого односортного паперу з використанням комп'ютерних текстових редакторів MS Word for Windows (6.0 чи 7.0), для набору формул використовують вбудовані редактори рівнянь, табличні матеріали можуть готуватись із використанням електронних таблиць (MS Excel). При цьому має застосовуватися шрифт Times New Roman.

Параметри сторінки Збірника встановлені такі:

- поля верхнє та бокові – 35 мм;
- поле нижнє – 45 мм;
- відступ від верхнього колонтитула – 12 мм;
- відступ від нижнього колонтитула – 20 мм.

Верхній і нижній колонтитули, а також номери сторінок не вводити.

Текст, формули, таблиці, рисунки, діаграми, схеми розміщуються на сторінці в одній колонці. Відступ першого рядка абзацу – 5 мм, інтервал між рядками – одинарний.

1. Матеріали набирають такими шрифтами:

- *УДК* – 11 пунктів, курсив;
- *автори* – 12 пунктів, напівжирний курсив;
- **НАЗВА СТАТТІ** – прописні літери, 12 пунктів, напівжирний;
- *анотація* – 11 пунктів, напівжирний курсив;
- основний текст – 11 пунктів, звичайний;
- © *Вовк А. А., 2010* – 12 пунктів, напівжирний курсив.

2. Усі **рисунки, таблиці, діаграми** повинні мати назви та номери (у випадку, коли в одному матеріалі міститься два і більше названих елементів):

Рис. 1. Розрахункова схема...

Таблиця 1. Проблеми...

Слова *Рисунок, Таблиця, Діаграма, Схема* та їхні номери набираються курсивом, 11 пунктів, їхні назви – напівжирним шрифтом, 11 пунктів, назви та номери таблиць розміщують над таблицями, а рисунків, діаграм, схем – під ними. Відривати назви від зазначених елементів забороняється.

Від рисунка до підпису і від підпису до тексту потрібно відступити три інтервали. Посилання в тексті на таблиці даються у скороченому вигляді: «табл. 1», – звичайним шрифтом.

Якщо таблиця не вміщується на одній сторінці, усі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують курсивом: «*Продовження табл. 1*» або «*Закінчення табл. 1*».

3. Графічні файли із **формулами, графіками, рисунками, схемами та фотографіями** мають бути розташовані в тексті в рамці MS WORD. Номер формули проставляється справа в кінці рядка, в круглих дужках, не виходячи на поле. Формули розташовуються на сторінці по центру. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок.

Вводяться вони в графічному редакторі «EQUATION EDITOR» для «WINDOWS».

Латинські літери та позначення величин (символи) набирають курсивом, українські та російські – тільки прямим шрифтом.

4. **Список використаної літератури** складається за ГОСТ 7.1-84.

Зокрема, вказуються:

▪ Порядковий номер джерела у списку, прізвища та ініціали всіх авторів, повна назва роботи, на яку посилаються, в якому журналі чи збірнику (повна назва) вона надрукована, рік видання, номер журналу або випуску збірника, сторінки (від – до), на яких її там розміщено;

▪ у посиланнях на авторські свідоцтва та патенти обов'язково вказуються також індекс МКІ, рік і номер Бюлетеня й дата публікації (за титульною сторінкою цього номера Бюлетеня);

▪ при посиланнях на монографії, на збірники в цілому, підручники, довідники вказуються місце (місто) видання та назва видавництва, рік видання, а також загальна кількість сторінок у книзі.

Усі бібліографічні описи джерел подаються мовою оригіналу.

Перед списком використаної літератури набирати напівжирним шрифтом (11 пунктів) **ЛІТЕРАТУРА**. Джерела в списку – звичайним шрифтом 9 пунктів, прізвища авторів – звичайним курсивом 9 пунктів. Після списку – **Надійшла...** напівжирним шрифтом (11 пунктів).

При посиланні на використану літературу потрібно зазначити назву використаного видання та (у квадратних дужках звичайним шрифтом) його номер у списку, наприклад: «...і визначаються тарифною схемою Прейскуранта 0-01 [2]».

5. Інтервали між елементами матеріалу такі:

- УДК – автори – 2;
- автори – назва статті – 3;
- назва статті – анотація – 2;
- анотація – основний текст – 1;
- основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка, схеми, діаграми) – 2;
- назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка, схеми, діаграми – їхні назви) – 1;
- нижній край таблиці (назва рисунка, діаграми, схеми) – основний текст – 2;
- основний текст – знак авторського права – 1;
- основний текст – **ЛІТЕРАТУРА** – 1;
- **ЛІТЕРАТУРА** – список літератури – 1;
- список літератури – **Надійшла...** – 2.

Науково-виробниче видання

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ДЕРЖАВНОГО ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ

Серія «Транспортні системи і технології»
Випуск 19

Редактор: Н. В. Щербак

Відповідальний за випуск В. І. Данилевський

Комп'ютерна верстка: В. А. Андрієнко

Підписано до друку 25.11.2011 р. Формат 60x90¹/₈.
Папір офсетний. Гарн. Таймс.
Друк на ризографі. Ум. друк. арк.17,6. Обл.-вид. арк. 13,12.
Наклад 150 прим. Зам. № 114-2/11.

Надруковано у видавництві ДЕГУТ.
Свідоцтво про реєстрацію від 30.10.01 № 141.
03049, м. Київ-49, вул. М. Лукашевича, 19.

