

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Серія: "Нові рішення в сучасних технологіях"

№ 66(972)2012

Збірник наукових праць

Видання засновано в 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2012

Вісник Національного технічного університету "ХПІ"

Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ „ХПІ» – 2012р. - № 66(972) – 192 с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ №5256 від 2 липня 2001 року

Збірник виходить українською та російською мовами.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових Фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р. №1 – 05/4. (Бюлетень ВАК України №6, 2010 р., стор. 3, №20).

Координаційна рада:

Л. Л. Товажнянський, д-р техн. наук, проф. (**голова**);

К. О. Горбунов, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);

А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є. І. Сокол, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.;

Є. Є. Александров, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;

Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.; М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.; А. І. Грабчєнко, д-

р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В. Д. Дмитрисєнко, д-р техн. наук, проф.; І.

Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.; В. В. Єпіфанов, канд. техн. наук проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн.

наук, проф.; П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В.Б. Клепіков, д-р техн. наук, проф.;

С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; В. М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.; В. І. Кравченко, д-

р техн. наук, проф.; Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; В. С. Лупіков, д-р техн. наук, проф.;

О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.; В. І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.; П. Г. Перерва,

д-р екон. наук, проф.; В. А. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.; М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.; В.

Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.; Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф., Ю. В. Тимофієв, д-р

техн. наук, проф., М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

Відповідальний редактор: Є. І. Сокол, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар: А. В. Івахненко, ст.викладач, Т. Л. Коворотний, асист.

Члени редколегії: Л. Л. Брагіна, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;

В. Т. Долбня, д-р техн. наук, проф.; В. Я. Заруба, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Клепіков, д-р техн.

наук, проф.; Б. В. Кліменко, д-р техн. наук, проф.; О. С. Куценко, д-р техн. наук, проф.;

Г. І. Львов, д-р техн. наук, проф.; Н. Н. Олександров, д-р техн. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р

екон. наук, проф.; М. І. Погорєлов, канд. екон. наук, проф.; Л. Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.; Р.

Д. Ситнік, д-р техн. наук, проф.; В. Я. Терзіян, д-р техн. наук, проф.; В. І. Тошинський, д-р техн.

наук, проф.; В. І. Шустіков, д-р техн. наук, проф.

З номеру 42'2012 р. Вісник НТУ «ХПІ» має власну подвійну нумерацію №42 (948).

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ „ХПІ”З

Протокол №:11 від « 21 » грудня 2012 р.

УДК 621.73

А. В. ЯВТУШЕНКО, канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запорожье

СИЛОВЫЕ УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛЗУНА КРИВОШИПНОГО ПРЕССА С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ

Приведен анализ положений ползуна кривошипного пресса с дополнительными направляющими в период рабочего хода. Дано определение зоны устойчивого положения ползуна. Указаны условия обеспечения устойчивого положения ползуна по конструктивным параметрам и технологическим условиям.

Ключевые слова: ползун, пресс, направляющие, усилие, положение

Введение. Постановка проблемы.

Экспериментально-теоретические исследования показывают, что в период прямого и обратного хода ползуна вследствие зазоров в направляющих и изменения нагрузки на ползуна происходит неоднократное изменение его положения относительно направляющих. Перекос ползуна и его смещение от геометрической центральной оси в любую сторону приводит к ухудшению условий работы штампов, что сказывается на их стойкости и на качестве готовых поковок. Особенно важно определение условий устойчивой работы ползунов кривошипных прессов для объемной штамповки (КГШП, ГКМ, автоматы для объемной штамповки и др.), в которых по технологическим условиям предопределено смещение технологической нагрузки на всех переходах штамповки. Возникает необходимость определения условий нагружения ползуна, при которых обеспечивается его наиболее устойчивое положение.

Анализ предшествующих исследований

Исследование устойчивости ползунов рассмотрено в нескольких работах, отличающихся различными предпосылками при разработке расчетных схем. Одной из первых работ являлись исследования И.И. Гирша по устойчивости ползунов ГКМ [1]. Автор предполагал, что в период технологического нагружения ползун касается основных и дополнительных направляющих в двух точках – в одной точке контакта с основными направляющими, и в одной точке контакта с дополнительными направляющими. Расположение точек контакта определяется величиной технологической нагрузки и расположением равнодействующей относительно центральной оси ползуна. Величина перекоса ползуна в работе не анализировалась, и условия наиболее устойчивого положения ползуна не определялись. Предельная нагрузка ползуна определялась по условию прочности хобота. При расчете ползунов КГШП было принято предположение, что перекосу ползуна препятствуют лишь колонки пакета штампов, а не дополнительные направляющие хобота. Указанная методика оценки условий работы ползунов ГКМ была использована в практике НКМЗ [2]. Дополнительно было принято предположение, что при определенных условиях происходит т. н. «подпрыгивание» ползуна, когда он изменяет свое положение и начинает соприкасаться с верхней планкой нижних направляющих. Для устранения такого положения ползуна авторы рекомендуют определять соответствующее значение дезаксиала кривошипно-ползунного механизма.

В работах [3, 4] принято допущение, что в период рабочего хода происходит касание ползуном КГШП направляющих в двух или трех точках – одна или две точки контакта с основными направляющими и одна точка контакта с дополнительными

© А. В. ЯВТУШЕНКО, 2012

направляющими. Распределение реакций определяется линейными параметрами ползуна и величиной смещения равнодействующей технологической силы. Статическая неопределенность системы разрешена путем введения дополнительного момента от верхней реакции при заданном прогибе хобота. Рассматривается задача определения допустимых усилий на ползуне исходя из прочности направляющих. При этом авторы исключают возможность прижатия ползуна полностью по всей длине площади контакта к одной из направляющих. Условия, при которых ползун занимает одно из возможных положений, в указанных работах не анализируются.

В работе [3, 4] рассмотрены вопросы определения границ допустимых нецентральных нагрузок на ползуне КГШП при учете контактной жесткости станины в точках контакта ползуна с направляющими, жесткости хобота и жесткости элементов кривошипно-ползунного механизма. При этом авторы принимают гипотезу, что ползун постоянно касается направляющих в трех точках независимо от величины смещения равнодействующей силы.

Во всех указанных работах авторы рассматривают нагружение ползуна при смещении равнодействующей силы в плоскости, параллельной оси главного вала, хотя и указывают, что смещение нагрузки возможно и в плоскости, перпендикулярной оси вала. Между тем смещение технологического усилия в плоскости главного исполнительного механизма, т. е. спереди назад, вполне возможно и даже целесообразно, особенно при автоматизированном процессе штамповки. Наличие горизонтальной составляющей реакции в шарнире соединения шатуна и ползуна, особенно при дезаксиале кривошипно-ползунного механизма, приводит к изменению реакций в точках контакта ползуна с направляющими и критических положений, при которых происходит изменение пространственного положения ползуна.

Цель статьи

В статье поставлена задача анализа возможных положений ползуна с дополнительными направляющими при холостом перемещении и рабочем нагружении, а также проведение оценки влияния на устойчивость ползуна конструктивных параметров механизма.

Основные материалы исследования

Не центральное нагружение ползуна с дополнительными направляющими возможно в двух плоскостях – в плоскости параллельной оси главного вала и в плоскости, перпендикулярной оси вала. Предпосылки и допущения для расчетов, расчетная схема ползуна с дополнительными направляющими и обозначения силовых и геометрических параметров представлены в работе [5].

Нагружение ползуна в плоскости ZOY. В общем случае при смещении технологического усилия по оси Z возможен контакт ползуна с направляющими в трех точках. Принимая, что реакция в верхних направляющих R_{3z} определяется величиной заданного прогиба хобота и его геометрическими размерами, решение уравнений статического равновесия записываются в виде

$$\left. \begin{aligned} R_{z2} &= \frac{\mp P_d z - R_{3z} [L_{xp} + h_b - k_r - \mu (B_z - 0,5(B_{bz} + \Delta_{bz}))]}{L_n - 2k_r}, \\ R_{z1} &= R_{z2} - R_{3z}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Индексы в обозначениях реакций обозначают: z – нагружение в плоскости ZOY ; 1 или 2 – номер реакции в основных направляющих (1–нижняя реакция, 2–верхняя). Распределение реакций в направляющих при номинальном усилии на ползуне на примере ползуна КГШП показано на рис. 1. Этот и все последующие рисунки приведены на примере ползуна КГШП номинальным усилием 25 МН при степени дезаксиала исполнительного механизма $\varepsilon = 0,1$.

При смещении усилия на величину z_0 реакция R_{2z} становится равной нулю и ползун отрывается в верхней части нижних направляющих и касается нижних направляющих в одной точке. При этом реакция R_{1z} становится равной по модулю реакции R_{3z} и при дальнейшем уменьшения смещения z они вместе стремятся к нулю при $z = 0$. Учитывая, что уменьшение реакции R_{1z} приводит к уменьшению прогиба хобота, можно предположить, что при уменьшении величины z_0 происходит одновременное уменьшение перекоса ползуна и при $z = 0$ перекося ползуна полностью исчезает – ползун становится в положение неустойчивого равновесия, будучи прижатым к нижним направляющим по всей длине.

Зону шириной $2z_0$ смещения усилия, при котором перекося ползуна близок к нулю, будем считать зоной квазиустойчивого положения ползуна, т. к. перекося ползуна все же сохраняется. Вполне очевидно, что в плоскости ZOY эта зона расположена симметрично относительно центральной оси ползуна. Величина предельного отклонения, при котором одна из реакций становится нулевой, определяется по формуле

$$z_0 = \mp R_{3z} (L_{xp} + h_b - k_r - \mu B_z + \mu 0,5(B + \Delta)) / P. \quad (2)$$

В формулах (1)–(2) верхний знак принимается для нагружения в левой половине ползуна, правый – при нагружении в правой части.

Нагружение ползуна в плоскости XOY

Решение уравнений статического равновесия ползуна в плоскости XOY в случае касания направляющих в трех точках имеют вид [5]

$$\left. \begin{aligned} R_{1p} &= \frac{-P_d(x + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) - P_u(x_u + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) + G_p(x_g + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) + R_{3x}(A_2 - A_3)}{L_n - 2k_r}, \\ R_{2p} &= \frac{-P_d(x - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) - P_u(x_u - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) + G_p(x_g - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) - R_{3x}(A_1 + A_3)}{L_n - 2k_r}, \\ R_{1z} &= \frac{P_d(x + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) + P_u(x_u + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) - G_p(x_g + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) + R_{3x}(A_2 - A_3)}{L_n - 2k_r}, \\ R_{2z} &= \frac{P_d(x - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) + P_u(x_u - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) - G_p(x_g - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) - R_{3x}(A_1 + A_3)}{L_n - 2k_r}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Здесь и далее обозначено $\operatorname{tg} \beta \gamma = \operatorname{tg}(\beta + \gamma)$. Зависимости для определения коэффициентов A_1 , A_2 и A_3 приведены в [5].

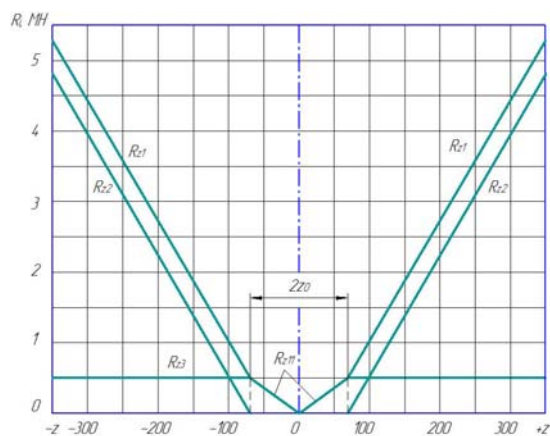


Рис. 1 - Распределение реакций в направляющих ползуна КГШПусилием 25 МН в плоскости ZOY

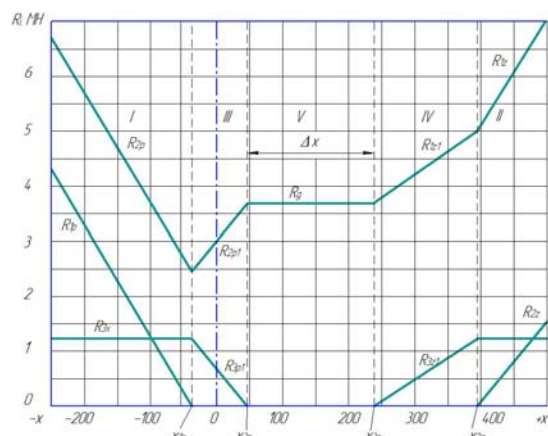


Рис. 2 – Распределение реакций в направляющих ползуна КГШП усилием 25 МН в плоскости XOY

Распределение реакций в направляющих на примере ползуна КГШП в плоскости XOY показано на рис. 2.

При смещении усилия P_d на величину x_{1p} при переднем нагружении, или на величину x_{2z} при заднем нагружении, одна из реакций в нижних направляющих

становится нулевой, и ползун касается направляющих в двух точках. Координаты x_{1p} и x_{2z} определяются из условий

$$x_p = \min(x_{1p}, x_{2z}), \quad x_z = \max(x_{1z}, x_{2z}), \quad (4)$$

где x_{1p} , x_{2p} , x_{1z} , x_{2z} – координаты смещения x , при котором соответствующая реакция становится равной нулю

$$\left. \begin{aligned} x_{1p} &= (G_p(x_g + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) - P_u(x_u + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) - A_2 P_d \operatorname{tg} \beta \gamma + R_{3x}(A_2 - A_3)) / P_d, \\ x_{2p} &= (G_p(x_g - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) - P_u(x_u - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) + A_1 P_d \operatorname{tg} \beta \gamma - R_{3x}(A_1 + A_3)) / P_d, \\ x_{1z} &= (G_p(x_g + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) - P_u(x_u + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) - A_2 P_d \operatorname{tg} \beta \gamma + R_{3x}(A_3 - A_2)) / P_d, \\ x_{2z} &= (G_p(x_g - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) - P_u(x_u - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) + A_1 P_d \operatorname{tg} \beta \gamma + R_{3x}(A_1 + A_3)) / P_d. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

После отрыва ползуна от одной из направляющих в плоскости XOY по-прежнему действует горизонтальная составляющая реакции P_{AB} в шарнире B , поэтому оставшиеся реакции не равны по модулю.

Усилие прижатия ползуна к направляющим в зоне устойчивого положения ползуна равно

$$R_g = (P_d + P_u - G_p) \operatorname{tg}(\beta + \gamma). \quad (6)$$

В зонах нагружения *III* или *IV* (рис. 2) решение уравнений статического равновесия имеет вид:

– при $\beta + \gamma \geq 0$

$$\left. \begin{aligned} R_{2p1} &= \frac{P_d(x + A_3 \operatorname{tg} \beta \gamma) + P_u(x_u + A_3 \operatorname{tg} \beta \gamma) - G_p(x_g + A_3 \operatorname{tg} \beta \gamma)}{L_{xp} - L_n + h_b + k_r}, \\ R_{3p1} &= \frac{-P_d(x + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) - P_u(x_u + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) + G_p(x_g + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma)}{L_{xp} - L_n + h_b + k_r}, \\ R_{1z1} &= \frac{P_d(x + A_3 \operatorname{tg} \beta \gamma) + P_u(x_u + A_3 \operatorname{tg} \beta \gamma) - G_p(x_g + A_3 \operatorname{tg} \beta \gamma)}{L_{xp} + h_b - k_r}, \\ R_{3z1} &= \frac{P_d(x - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) + P_u(x_u - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) - G_p(x_g - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma)}{L_{xp} + h_b - k_r}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

– при $\beta + \gamma < 0$

$$\left. \begin{aligned} R_{1p1} &= \frac{-P_d(x + A_3 \operatorname{tg} \beta \gamma) - P_u(x_u + A_3 \operatorname{tg} \beta \gamma) + G_p(x_g + A_3 \operatorname{tg} \beta \gamma)}{L_{xp} + h_b - k_r}, \\ R_{3p1} &= \frac{-P_d(x - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) - P_u(x_u - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma) + G_p(x_g - A_1 \operatorname{tg} \beta \gamma)}{L_{xp} + h_b - k_r}, \\ R_{2z1} &= \frac{-P_d(x + A_3 \operatorname{tg} \beta \gamma) - P_u(x_u + A_3 \operatorname{tg} \beta \gamma) + G_p(x_g + A_3 \operatorname{tg} \beta \gamma)}{L_{xp} - L_n + h_b + k_r}, \\ R_{3z1} &= \frac{P_d(x + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) + P_u(x_u + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma) - G_p(x_g + A_2 \operatorname{tg} \beta \gamma)}{L_{xp} - L_n + h_b + k_r}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Значения двух реакций после исчезновения третьей для приведенного примера показаны на рис. 2. Наконец, при смещении усилия на величину x_{3p} или x_{3z} реакция R_3 становится равной нулю, прогиб хобота полностью исчезает и ползун полностью прижат к одной из нижних направляющих. Величина смещения усилия деформации x_{3p+} и x_{3z} определяется по формулам:

– при $\beta + \gamma \geq 0$

$$\left. \begin{aligned} x_{3p+} &= [G_p(x_g + A_2 \operatorname{tg}(\beta + \gamma)) - P_u(x_u + A_2 \operatorname{tg}(\beta + \gamma)) - A_2 P_d \operatorname{tg}(\beta + \gamma)] / P_d, \\ x_{3z+} &= [G_p(x_g - A_1 \operatorname{tg}(\beta + \gamma)) - P_u(x_u - A_1 \operatorname{tg}(\beta + \gamma)) + A_1 P_d \operatorname{tg}(\beta + \gamma)] / P_d. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

– при $\beta + \gamma < 0$

$$x_{3p-} = x_{3z+}, \quad x_{3z-} = x_{3p+}. \quad (10)$$

Зона, в пределах которой обеспечивается прижатие ползуна к нижней направляющей по всей длине и отсутствует прогиб хобота, будем называть *зоной устойчивого положения* (ЗУП) ползуна (зона V на рис. 2).

Ширина зоны Δx определяется из условия

$$\Delta x = \begin{cases} x_{3z+} - x_{3p+} & \beta + \gamma \geq 0, \\ x_{3z-} - x_{3p-} & \beta + \gamma < 0. \end{cases} \quad (11)$$

Индексы в обозначениях смещений обозначают: 3 – реакция R_3 ; p или z – переднее или заднее нагружение; $+$ или $-$ обозначают положительное или отрицательное значение величины $\beta + \gamma$. Расположение зоны определяется координатами смещения x_{3p} и x_{3z} . Средине зоны x_{cp} располагается в точке с координатами

$$x_{cp} = \begin{cases} \Delta u / 2 + x_{3p+} & \beta + \gamma \geq 0, \\ \Delta u / 2 + x_{3p-} & \beta + \gamma < 0. \end{cases} \quad (12)$$

Таким образом, из формул (3)–(12) и рис. 2 следует, что при рабочем нагружении возможно пять положений ползуна, показанных на рис. 3. Положения, обозначенные на рисунке I и II, имеют место при любых значениях выражения $\beta + \gamma$. Положения, обозначенные III₊–V₊ возможны для механизмов при $\beta + \gamma \geq 0$, а положения, обозначенные III₋–V₋ – для механизмов при $\beta + \gamma < 0$.

Полученные зависимости позволяют определить положение ползуна в период рабочего нагружения и оценить влияние конструктивных параметров ползуна и главного исполнительного механизма на положение и размеры зоны устойчивого положения.

Прежде всего, следует, что ширина зоны Δx существенно зависит от степени дезаксиала исполнительного механизма. Всегда существует некоторое значение степени дезаксиала ε_0 (*критическая степень дезаксиала*), при котором величина зоны устойчивого положения равна нулю.

При критической степени дезаксиала $\beta + \gamma = 0$, и ползун находится в положении неустойчивого равновесия. Величина ε_0 определяется из уравнения $\beta + \gamma = 0$, решением которого является

$$\varepsilon_0 = -\lambda \sin \alpha_m - \sin \left(\mu \frac{r_A + r_B}{L} \right), \quad (13)$$

где λ – коэффициент шатуна; α_m – угол поворота главного вала, соответствующий максимальному усилию деформации; r_A , r_B – соответственно радиус большой и малой головки шатуна; μ – коэффициент трения в шарнирах исполнительного механизма; L – длина шатуна.

Зависимость координат x_{3p} и x_{3z} , ширины Δx и координаты x_{cp} центра зоны ЗУП в зависимости от степени дезаксиала показаны на рис. 4.

Из рис. 4 следует, что ширина

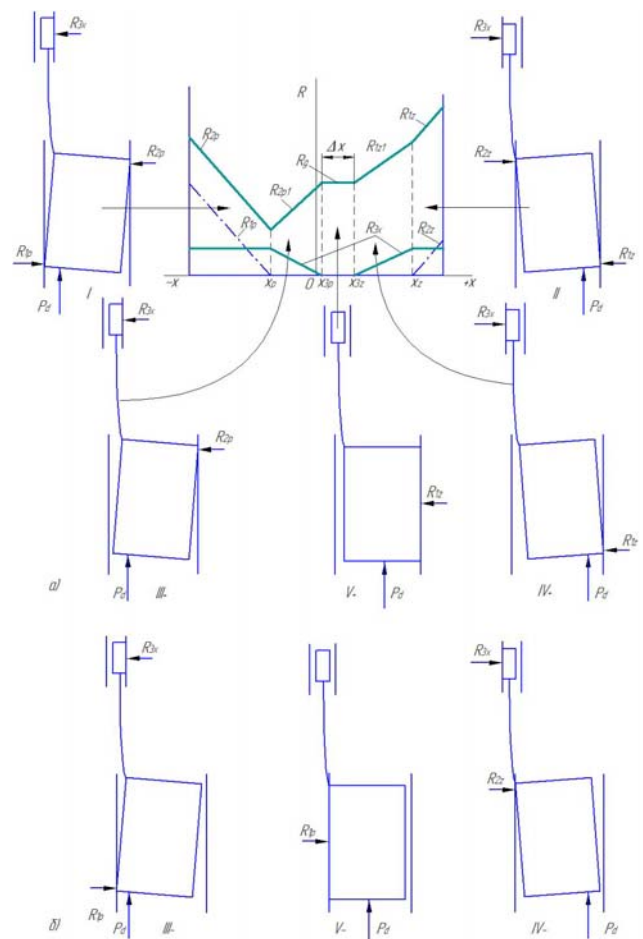


Рис. 3 – Возможные положения ползуна при рабочем нагружении

ЗУП (затемненная область) возрастает с увеличением абсолютного значения степени дезаксиала ε , особенно при положительном дезаксиале. При этом середина ЗУП обычно расположена в области положительных значений координаты x , т. е. смещена от центра ползуна в направлении вращения главного вала к задним направляющим. С учетом того, что для горячештамповочных прессов рекомендуется принимать положительный дезаксиал, указанное свойство приводит к важному выводу – для повышения устойчивости ползуна точку приложения равнодействующей технологического

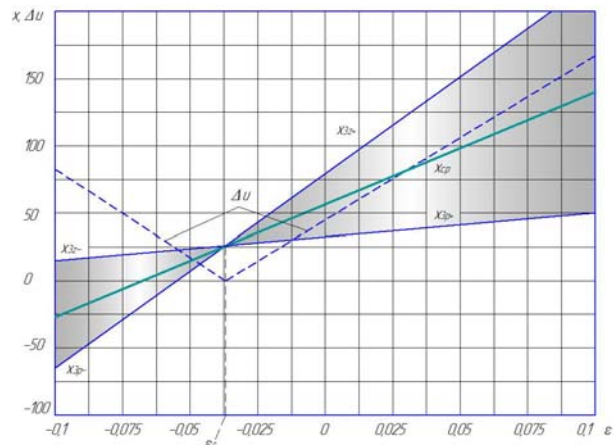


Рис. 4 – Положение зоны устойчивого равновесия ползуна КГШП усилием 25 МН

усилие необходимо смещать от центра ползуна к задним направляющим. Координаты середины зоны устойчивого положения ползуна в значительной степени зависят от расстояния h_b точки шарнира соединения шатуна с ползуном от рабочей поверхности ползуна (рис. 5 при $\varepsilon = 0.1$). При увеличении h_b ЗУП значительно смещается к задним направляющим, а величина координаты достигает предельного значения, равного половине ширины ползуна в плоскости XOY . Ширина ЗУП при этом от величины h_b не зависит.

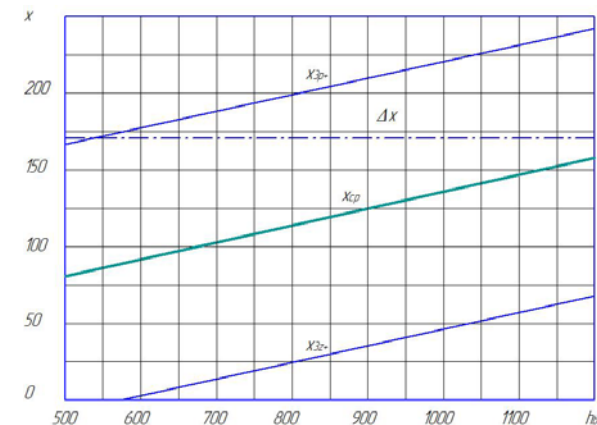


Рис. 5 – Зависимость положения зоны устойчивости ползуна от параметра h_b

Исходя из анализа положения ползуна и распределения реакций в период рабочего хода, можно утверждать, что в диапазоне смещений $x_{3z}-x_{3p}$, т. е. в ЗУП, положение ползуна наиболее устойчивое и желательное. Так, перекося ползуна отсутствует, ползун

прижат к направляющей планке по всей длине направляющих, реакция в контакте с направляющей минимальная. Именно такие условия являются наиболее благожелательными для работы штампа, и именно при таких условиях обеспечивается наивысшее качество поковок. В таком случае желательно обеспечить такое же или близкое к нему положение ползуна перед началом рабочего хода (начальное положение), чтобы избежать его поворота во время штамповки. Очевидно, что начальное положение ползуна определяется весом ползуна G_g , усилием уравновешивателя P_u , координатами центра тяжести x_g и точки подвеса уравновешивателя x_u .

В момент начала рабочего хода ползун перемещается со значительным замедлением, поэтому при отсутствии технологического усилия значительно возрастает роль силы инерции, на величину которой необходимо увеличить суммарный вес ползуна и верхней части штампа G_g . Сила инерции ползуна $P_i = G_g \cdot j_{np}$ определяется при известном ускорении ползуна в момент начала технологического нагружения j_{np} , т. е. при угле α_{np} поворота главного вала, равном углу начала рабочего хода.

Из условий равновесия (1) при отсутствии технологического усилия P_d несложно получить выражение для определения зависимости между координатами x_g и x_u , при которых ползун прижат к передним или задним направляющим

$$x_{u0} = x_{gu} - (G_p + P_i)(x_{gu} - x_g)/P_u, \quad (14)$$

где P_i – сила инерции исполнительного механизма перед началом рабочего хода;
 x_{gu} – коэффициент, определяемый по формуле

$$x_{gu} = \mu \frac{r_B}{\cos(\beta + \gamma)} + x_b + (y_b - L_x) \operatorname{tg}(\beta + \gamma),$$

где x_b, y_b – координаты точки положения равнодействующей силы в шарнире B [5];
 L_x – длина хобота ползуна.

На рис. 6 показана зависимость (14) для КГШП при условии, что усилие уравнивателя равно весу ползуна, увеличенном на величину максимальной силы инерции, т. е. при крайнем нижнем положении. Если фактическая координата точки крепления уравнивателя расположена выше прямой на рис. 5 (затененная область) при заданном значении x_g , ползун перед началом рабочего хода занимает положение IV_+ , в противном случае – положение III .

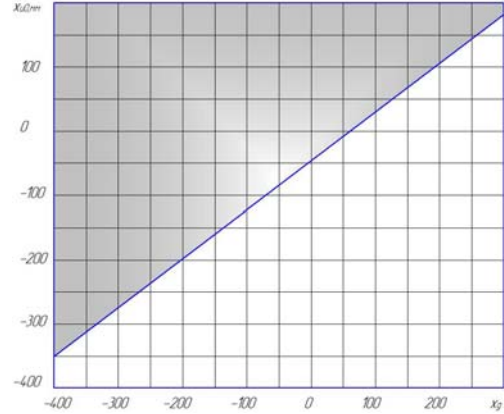


Рис. 6 – Определение точки крепления уравнивателя

С учетом расположения ЗУП из рис. 5 и зависимости (14) следует, что для прессов с положительным дезаксиалом предпочтительным является заднее расположение крепления уравнивателя. Именно такое расположение крепления уравнивателей принято в лучших конструкциях КГШП фирмы National [3].

Очевидно, что для обеспечения наилучшего направления верхней и нижней частей инструмента необходимо обеспечивать при наладке такие условия, когда ползун перед началом технологической операции занимает положение III или IV в зависимости от значения величины степени дезаксиала. При необходимости следует обеспечивать принудительное прижатие ползуна к соответствующей направляющей перед его закреплением на подштамповой плите прессы. В таком случае взаимодействие направляющих колонок и втулок штампа, не нагруженных поперечными силами от технологического усилия, в наилучшей степени способствуют точному расположению верхней и нижней частей штампа. В дальнейшем, при выполнении технологической операции важно обеспечить условия нагружения ползуна, при которых он не теряет свое первоначальное положение, т. е. начальное и рабочее положения ползуна не должны изменяться. Отсюда следует вывод – для обеспечения наибольшей точности взаимного расположения рабочих частей инструмента необходимо обеспечивать условия, при которых ползун занимает одно и то же положение как при начале технологического нагружения, так и при достижении максимального значения технологического усилия. Но если начальное положение ползуна определяется чисто конструктивными параметрами кривошипно-ползунного механизма и не может быть изменено в процессе эксплуатации, то положение ползуна при технологическом нагружении несложно изменить путем вариации координаты точки приложения усилия. То есть, при проектировании технологической оснастки необходимо обеспечить расположение равнодействующей технологического усилия в той области относительно центральной оси ползуна, в которой обеспечивается такое же положение ползуна, как и в начале нагружения.

Выводы

1. В период рабочего нагружения в зависимости от величины смещения технологического усилия, возможны пять положения ползуна относительно

направляющих. Существует зона устойчивого положения ползуна, в которой обеспечивается точное перемещение верхней части инструмента по отношению к нижней, отсутствует перекося ползуна.

2. Зона устойчивого положения ползуна смещена в направлении вращения главного вала, поэтому при проектировании технологической оснастки необходимо обеспечивать соответствующее смещение равнодействующей технологического усилия.

3. Установлены зависимости для определения положения ползуна перед началом технологического нагружения в зависимости от положения центра тяжести ползуна и расположения крепления уравнивателя.

4. Для обеспечения наибольшей устойчивости ползуна наладку штампов необходимо производить в положении, близком к тому, которое занимает ползун в период рабочего нагружения.

Список литературы: 1. Гириш И. И. Диаграмма допускаемого внецентренного нагружения горизонтально-ковочной машины // Вестник машиностроения, 1957, № 7. С. 36-44. 2. Кожевников В. Я. Горизонтально-ковочные машины / В. Я. Кожевников, И. Г. Ксенжук, И. И. Худяков. — М.: Машгиз, 1960. — 240 с. 3. Игнатов А. А. Кривошипные горячештамповочные прессы / А. А. Игнатов, Т. А. Игнатова. — М.: Машиностроение, 1974. — 352 с. 4. Кривошипные кузнечно-прессовые машины / [В. И. Власов, А. Я. Борзыкин, И. К. Букин-Батырев и др.] Под ред. В. И. Власова. — М.: Машиностроение, 1982.— 424 с. 5. Явтушенко А. В. К расчету ползунов однокривошипных прессов с дополнительными направляющими // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля №13 (184), частина 1. — Луганськ: Вид-во СХУ, 2012. — С.42-51.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 621.73

Силовые условия устойчивости ползуна кривошипного прессы с дополнительными направляющими / А. В. Явтушенко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. — Х: НТУ «ХП», — 2012. - № 66 (972). — С. 3-10. — Бібліогр.: 5назв.

Приведений аналіз положень повзуна кривошипного преса з додатковими напрямними в період робочого ходу. Дано визначення зони стійкого положення повзуна. Вказані умови забезпечення стійкого положення повзуна по конструктивних параметрах і технологічних умовах.

Ключові слова: повзун, прес, напрямні, зусилля, положення

The analysis of positions of slide-block is resulted crankles press with the additional sending in the period of working stroke. Determination|definition| of area of steady position of slide-block is Given. The terms of providing of steady position slide-block are indicated on structural parameters and technological terms.

Keywords: slide-block, press, sending, effort, position

УДК 621.9.048

И. А. ДУДНИКОВ, проф., Полтавская государственная аграрная академия;
А. В. КАНИВЕЦ, канд. техн. наук, Полтавская государственная аграрная академия;
А. А. КЕЛЕМЕШ, ассис., соискатель, Полтавская государственная аграрная академия;
Г. И. СЕМЧУК, магистрант, Полтавская государственная аграрная академия;

ВИБРАЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Рассматриваются вопросы изменения свойств материала деталей при их обработке методом вибрационного и обычного деформирования деталей с целью разработки технологических процессов их восстановления.

Ключевые слова: вибрационные колебания, деформирование, технологический процесс, усилие обработки.

© И. А. ДУДНИКОВ, А. В. КАНИВЕЦ, А. А. КЕЛЕМЕШ, Г. И. СЕМЧУК, 2012

Введение

Технологические процессы, использующие вибрационное воздействие, применяются в машиностроении, строительстве, горнодобывающей промышленности, в ремонтном и других отраслях производства. Использование низкочастотного спектра колебаний позволило разработать технологические процессы непосредственного их воздействия как на объект обработки, так и на обрабатывающие среды и инструменты.

Процессы вибрационной технологии связаны с такими явлениями, как удар, кавитация, многоконтактное взаимодействие обрабатываемых предметов, взаимодействие ударных волн с обрабатываемым материалом и др.

Вибрационная технология существенно отличается от традиционных методов обработки и позволяет создавать новые методы и технологические процессы, характеризующиеся более высокой интенсивностью и производительностью и качественными показателями.

Постановка проблемы

Область использования вибрационных технологий в различных народнохозяйственных отраслях достаточно многогранна и имеет тенденцию к дальнейшему расширению. Их использование началось сравнительно недавно, в 60-е годы.

Разработка и применение новых технологических процессов в ремонтном производстве при восстановлении изношенных деталей, основанных на воздействии вибрационных колебаний на обрабатываемую поверхность деталей, позволит повысить их износостойкость. В этой связи особую актуальность приобретают вопросы разработки и внедрения новых технологических процессов (технологий), обеспечивающих экономичность процесса и высокое качество восстановленных деталей.

Анализ основных исследований и публикаций

В технологии машиностроения и приборостроения вибрационные колебания используются в отделочно-записной и отделочно-упрочняющей обработке, при мойке и сушке, транспортировании, в усталостных испытаниях материалов и др. Схема совмещения процессов вибрационной обработки и транспортирования по производительности является по сути роторной обработкой.

В металлургическом и литейном производстве – это заливка расплавленного металла в вибрирующие формы, регенерация формовочных материалов.

Большой диапазон применения вибрационных технологий в сфере машиностроительных отраслей: сельскохозяйственное производство, пищевая и мясомолочная промышленность, экология, медицина, горнодобывающая промышленность и др.

В условиях сельскохозяйственного производства процессы вибрационной обработки находят применение при очистке и мойке корнеплодов и фруктов, сепарации, помеле зерновых и масличных культур и др.

В экологии вибрации и соответствующие устройства находят применение при очистке сточных вод, аэрации и т.д.

Касаясь перспектив использования колебаний различного спектра в технологических целях, следует отметить, что в ближайшие годы интерес к этой проблеме со стороны специалистов различных отраслей будет возрастать [1]. Основные предпосылки к этому: интенсификация существующих технологических процессов и методов воздействия на предмет и среду; разработка новых способов обработки материалов и сред; снижение энергозатрат и улучшение качества обработки.

Представляет интерес проведение исследований по разработке новых технологий восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники: дисков сошников

зерновых сеялок, рабочих органов почвообрабатывающих машин (лапы культиваторов, плужные лемехи), дисков копачей свеклоуборочных машин и др. Эти исследования, в свою очередь, помогут раскрыть новые возможности эффективного использования колебаний в технологических процессах обработки.

Результаты исследований

Под воздействием вибраций в телах распространяются волны деформаций, при воздействии которых, прилегающий к вибрирующему органу слой получает от него силовые импульсы. Импульсы передаются следующим частицам и слоям. Вследствие инерционности, наличия сил трения и необратимых (остаточных) деформаций (пластическая деформация материала деталей) импульсы по мере передачи их от слоя к слою постепенно затухают. Степень затухания зависит от свойств обрабатываемого материала, режимов обработки (частота, амплитуда обрабатывающего инструмента, его скорость движения). Энергия колебательного движения рабочего органа (обрабатывающего инструмента) затрачивается на восполнение потерь при необратимых деформациях.

По нашему мнению, основой вибрационного упрочнения является динамический характер процесса обработки, сопровождающийся множеством микроударов обрабатывающего органа по обрабатываемой поверхности деталей. Происходит пластическое деформирование поверхностного слоя, в результате чего образуются сжимающие остаточные напряжения, повышается микротвёрдость, снижается шероховатость обрабатываемой поверхности.

Пластическая деформация с точки зрения дислокационной теории является не только результатом перемещения под нагрузкой дефектов кристаллической решётки обрабатываемого материала, но и способом изменения его формы и свойств.

Основным механизмом пластической деформации является скольжение, т.е. сдвиг по плоскостям максимальных касательных напряжений. На пластичность оказывает влияние целый ряд факторов: состав и структура обрабатываемого материала, скорость деформирования и температура, размеры обрабатываемой детали и используемая схема деформации.

При вибрационном деформировании в результате нагружения пульсирующей нагрузкой происходит дробление зёрен обрабатываемого материала и обеспечивается их ориентированность по отношению направления приложенного усилия. В этих зёрнах создаются условия для пластической деформации скольжения, так как касательные напряжения достигают наибольшего значения.

Пластичность определяется не только характером расположения линий скольжения, но и наличием мест с ослабленными связями, обусловленными несовершенством кристаллической решётки, т.е. дислокациями. При перемещении дислокации вызывают смещение всех атомов вдоль плоскостей скольжения, увеличивая тем самым величину деформации.

Особенности в развитии линий скольжения при вибрационном деформировании состоят не только в снижении сил контактного трения, но и в изменении поведения дислокаций в результате специфического воздействия.

Различные дефекты строения кристалла (искажение решётки, включения) создают препятствия перемещению дислокаций. Скопление дислокаций затрудняет зарождение новых дислокаций. При вибрационном деформировании в результате раздробления зёрен (формирование блоков зёрен) протяжённость их границ увеличивается и тем самым возникает больше зон скопления дислокаций. Этим можно объяснить механизм упрочнения при вибрационном деформировании.

При обработке давлением (технологическая операция осадки) происходит

уменьшение высоты h образца с одновременным увеличением его остальных размеров.

Перемещение обрабатывающего инструмента со скоростью v может быть описано уравнением:

$$\Delta = \delta(P_{cm} + P), \quad (1)$$

где δ – податливость материала образца в ударном сечении S , определяемая уравнением [2]:

$$\delta = \frac{h}{E \cdot S}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости первого рода.

Сила инерции P может быть определена:

$$P = -m \cdot \ddot{\Delta}, \quad (3)$$

где $\ddot{\Delta}$ – ускорение ударного сечения.

С учётом уравнения (3) выражение (1) примет вид:

$$\Delta = \delta(P_{cm} - m \cdot \ddot{\Delta}). \quad (4)$$

После соответствующих преобразований получаем:

$$\ddot{\Delta} + \frac{1}{\delta \cdot m}(\Delta - \delta \cdot P_{cm}) = 0. \quad (5)$$

Введя переменную $u = (\Delta - \delta \cdot P_{cm})$, находим:

$$\Delta = u + \delta \cdot P_{cm}. \quad (6)$$

Дифференцируя по t , имеем:

$$\dot{u} = \dot{\Delta}; \quad \ddot{u} = \ddot{\Delta}. \quad (7)$$

После совместного решения уравнений (5), (6) и (7) получаем:

$$\ddot{u} + n^2 \cdot u = 0, \quad (8)$$

где n – частота колебаний обрабатывающего инструмента:

$$n = \sqrt{\frac{1}{\delta \cdot m}}. \quad (9)$$

Уравнение (8) является однородным дифференциальным уравнением 2-го порядка, решением которого является:

$$u = C_1 \cdot \cos(n \cdot t) + C_2 \cdot \sin(n \cdot t), \quad (10)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования, определяемые из начальных условий; t – время обработки.

Дифференцируя уравнение (10) по t , получим:

$$\dot{u} = -n \cdot C_1 \cdot \sin(n \cdot t) + n \cdot C_2 \cdot \cos(n \cdot t). \quad (11)$$

В начальный момент времени при $t = 0$, имеем:

$$C_1 = \delta \cdot P_{cm}, \quad (12)$$

$$C_2 = \frac{v}{n}. \quad (13)$$

После подстановки значений C_1 и C_2 в уравнения (10) и (11) находим:

$$u = -\delta \cdot P_{cm} \cdot \cos(n \cdot t) + \frac{v}{n} \cdot \sin(n \cdot t), \quad (14)$$

$$\dot{u} = -n \cdot \delta \cdot P_{cm} \cdot \sin(n \cdot t) + v \cdot \cos(n \cdot t). \quad (15)$$

С учётом, что $u = (\Delta - \delta \cdot P_{cm})$ и $\dot{u} = \dot{\Delta}$, получаем выражения для определения перемещения и скорости ударного сечения:

$$\Delta = \delta \cdot P_{cm} \cdot [1 - \cos(n \cdot t)] + \frac{v}{n} \cdot \sin(n \cdot t), \quad (16)$$

$$\dot{\Delta} = -n \cdot \delta \cdot P_{cm} \cdot \sin(n \cdot t) + v \cdot \cos(n \cdot t). \quad (17)$$

Значение силы P_d в ударном сечении может быть определено отношением перемещения ударного сечения Δ к величине δ :

$$P\delta = P_{cm} \cdot [1 - \cos(n \cdot t)] + \frac{v \cdot E \cdot S}{h \cdot n} \cdot \sin(n \cdot t). \quad (18)$$

Поскольку $\frac{v}{n} = A$, то уравнение (18) примет вид:

$$P\delta = P_{cm} \cdot [1 - \cos(n \cdot t)] + \frac{A \cdot E \cdot S}{h} \cdot \sin(n \cdot t), \quad (19)$$

где A – амплитуда обрабатывающего инструмента.

Разделив уравнение (19) на площадь контакта S , получаем значение динамических напряжений:

$$\sigma_\delta = \sigma_{cm} \cdot [1 - \cos(n \cdot t)] + \frac{A \cdot E}{h} \cdot \sin(n \cdot t). \quad (20)$$

Выводы

Проведенными исследованиями установлено, что при вибрационном упрочнении по сравнению с обычной обработкой поверхности требуется в 2,5 раза меньше усилия для получения одинакового значения величины деформации.

Список литературы: 1. *Бабичев А. П.* Основы вибрационной технологии / *А. П. Бабичев, И. А. Бабичев.* – Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с. 2. *Манжосов В. К.* Модели продольного удара / *В. К. Манжосов.* – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 160 с.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 621.9.048

Вибрационные колебания в технологических процессах / И.А. Дудников, А.В. Канивец, А.А. Келемеш, Г.И. Семчук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 10-14. – Бібліогр.: 2 назв.

Розглядаються питання зміни властивостей матеріалу деталей при їх обробці методом вібраційного і звичайного деформування деталей з метою розробки технологічних процесів їх відновлення.

Ключові слова: вібраційні коливання, деформування, технологічний процес, зусилля обробки.

The problems of changing the properties of the parts as they are processed by conventional vibration and deformation of parts to develop a process of recovery.

Keywords: vibrating vibration, deformation, process, processing effort.

УДК 637.5.002.5

С. А. ГРИНЬ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»;

О. Н. ФИЛЕНКО, канд. техн. наук, ассистент, НТУ «ХПІ»;

А. А. ТЕЛЮК, студент, НТУ «ХПІ»

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КУТТЕРОВ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ НОЖЕЙ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований эксплуатационных характеристик ножей куттера. Также приведена новая конструкция ножа, позволяющая повысить рабочие характеристики куттера и ремонтпригодность изделия.

Ключевые слова: ножи куттера, повышение износостойкости, фарш, измельчение, резанье.

© С.А. ГРИНЬ, О.М. ФИЛЕНКО, А.А. ТЕЛЮК, 2012

Введение

В условиях развивающихся рыночных отношений особое значение для перерабатывающих отраслей АПК Украины приобретают вопросы повышения показателей надежности измельчающих машин и аппаратов. Перерабатывающие предприятия не в полном объеме обеспечиваются современными режущими рабочими органами. Этот факт значительно снижает эффективность технологий переработки сельскохозяйственной продукции.

Цель статьи

Создание новой конструкции ножа, позволяющей повысить эксплуатационные характеристики куттера и ремонтпригодность изделия.

Постановка проблемы

Тонкоизмельченный фарш является основной составляющей для изготовления большинства колбасных изделий, а также паштетов и консервов. В настоящее время на мясоперерабатывающих предприятиях фарш преимущественно измельчают в куттерах. В куттерах фарш измельчается наборами серповидных ножей. Ножи куттера мало того, что являются дефицитом, обладают низкими показателями долговечности и безотказности, связано это с их конструктивно-технологическим несовершенством. Они относятся к быстроизнашивающимся деталям, но вопросы по их восстановлению в полной мере не проработаны. В современных условиях непрерывно-поточного производства исключительное значение приобретают показатели надежности режущего инструмента, вместе с тем повышаются требования к ресурсосберегающим характеристикам применяемых технологий.

Анализируя, технологии и конструкции ножей куттеров отечественной промышленности можно сделать вывод, что сложилась неблагоприятная ситуация, когда отсутствуют способы и немаловажно соответствующее оборудование для производства данного вида режущего инструмента, отвечающего современным требованиям. И в связи с этим перерабатывающие предприятия вынуждены ориентироваться на закупку дорогостоящего импортного инструмента, что резко увеличивает производственные затраты и, следовательно, себестоимость продуктов питания.

Трудности в изготовлении и снабжении перерабатывающих отраслей АПК высокоэффективным режущим инструментом обусловлены целым комплексом факторов относящихся, прежде всего, технологической и конструктивной непродуманностью в стадии проектирования изделий и отсутствием специализированных центров промышленного производства режущего инструмента.

Надежная работа куттеров и качество получаемого в процессе измельчения продукта главным образом зависит от стойкости режущего инструмента. Серийные ножи куттеров наряду со значительной стоимостью подвержены частым поломкам под воздействием изгибающих нагрузок и непригодны к последующему ремонту. В настоящее время недостаточно исследованным направлением является вопрос повышения надежности ножей куттеров на основе разработки новой технологии их изготовления и совершенствования конструктивного исполнения. Таким образом, разработка новых моделей ножей куттера и конструктивно-технологическое совершенствование существующих ножей является весьма актуальной проблемой.

Анализ предыдущих исследований

Исследованию вопроса повышения долговечности ножей куттера посвящено значительное количество научных работ. В направлении повышения надежности режущего инструмента мясоперерабатывающей промышленности работали Прейс Г. А., Чижикова Т. В., Даурский А. Н., Седунов В. К., Рудик Ф. Я. и др. ученые. Вместе с тем следует отметить, что существующие ножи куттеров обладают низкой надежностью, а

применяемые способы изготовления не удовлетворяют требованиям ресурсосбережения. Поэтому разработка технологии изготовления ножей куттеров, обеспечивающей возможности их конструктивного совершенствования и повышения надежности, представляет особый научный интерес.

Основная часть

Серийный нож куттера состоит из лезвия 1 с режущей кромкой 2 и посадочной части 3, фиксирующей положение ножа в головке (рис. 1, а). Большинство ножей куттеров имеют лезвия в форме двугранного одностороннего клина (рис. 1, б).

Грань лезвия Б, совпадающая с плоскостью движения ножа, является опорной. Грань лезвия С, расположенная под углом к плоскости движения ножа, называется рабочей. Эта грань производит деформирование

и вытеснение измельчаемого мяса из пространства, занимаемого впоследствии ножом. Линия пересечения опорной и рабочей граней образует режущую кромку лезвия. С помощью режущей кромки происходит непосредственное разрушение мясной ткани путем вклинивания и разделения ее на части. Режущая кромка практически не представляет собой строго геометрической линии, а имеет микронеровности с закруглениями, величина радиуса которых оказывает существенное влияние на режущие свойства ножа куттера [1]. Выполненная с тыльной стороны лезвия 1 выборка 4 (рис. 1, б) способствует плавному, без вспенивания, обтеканию измельчаемого продукта поверхности ножа.

В конструкциях таких ножей куттеров параметры долговечности и ремонтпригодности не являются основополагающими при их проектировании. Особое внимание в таких ножах уделено лишь повышению качества получаемого в процессе измельчения продукта и эффективности использования куттеров. Вместе с тем эффективность использования мясоперерабатывающего оборудования напрямую связана с долговечностью режущего инструмента, характеризующейся временем или величиной работы лезвия инструмента, при условии периодического восстановления в заданных пределах его режущей способности до момента ее полной невосстанавливаемости [2]. Известно, что производственный процесс в перерабатывающей промышленности состоит из десятков взаимосвязанных агрегатов, каждый из которых представляет отдельное звено в общей цепочке производства, и отказ в одном месте, например, поломка ножа куттера, вызывает остановку сразу на нескольких участках, что сопровождается значительными материальными потерями [3]. Вот почему легко представить, насколько эффективно любое мероприятие, направленное на повышение долговечности ножей куттеров.

Учитывая особенности работы ножей куттеров и конструктивное исполнение режущей кромки, представляется наиболее целесообразным повышение долговечности и ремонтпригодности ножей рассматривать через изменение конструкции лезвия.

Определяющими геометрическими параметрами режущего инструмента при этом являются угол заточки и острота лезвия [4]. Угол заточки оказывает решающее влияние на качество среза материала, при его увеличении резко возрастают усилия резания. Поэтому для ножей желательно выбирать минимально возможный угол заточки, соблюдая при этом условия их прочности [5]. При выборе толщины ножа следует, помимо расчетной

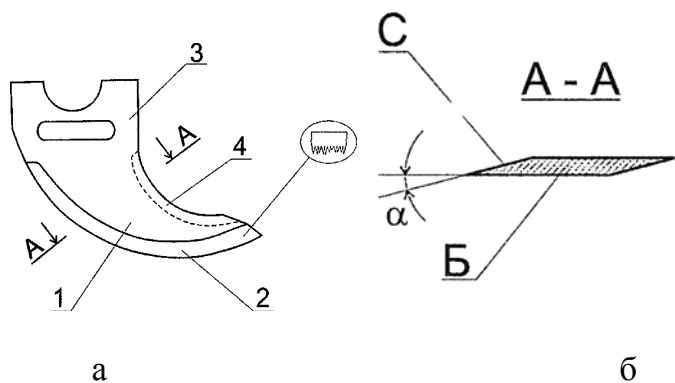


Рис. 1 – Нож куттера: а – фиксирующее положение ножа в головке; б – форма ножа в разрезе

его толщины, учитывать свойства разрезаемого материала, износостойкость самого ножа и требования к качеству среза [6, 7].

Значимым резервом повышения износостойкости и долговечности ножей куттеров является экономически и технически продуманная методика выбора марки используемого материала. Изготовление ножей из низкокачественных, возможно недефицитных, материалов, ведет к систематическим затратам мясоперерабатывающих предприятий на ремонт и замену режущего инструмента. Например, ножи, изготовленные из углеродистой стали У8 и У10, требуют ежесменной перезаточки, обладают низкими антисептическими характеристиками и хрупкими режущими кромками. Это обуславливает, необходимость исследовать физико-механические свойства различных конструкционных материалов для изготовления ножей куттеров.

В настоящее время большинство ножей куттеров изготавливается из углеродистой стали У8...У10. При этом, толщина лезвия находится в пределах 5÷8 мм, твердость режущей кромки HRC 54...60, а угол заточки лезвия 25÷35°. Основной недостаток данной конструкции состоит в необоснованном выборе используемого материала, причем ссылка на его сравнительно малую стоимость совершенно несостоятельна, поскольку ножи, изготовленные из углеродистой стали, обладают низкой способностью противостоять выкрашиванию режущей кромки лезвия. С целью устранения этого недостатка угол заточки выбирается равный 25÷35°, что позволяет в процессе работы избежать выкрашивания материала лезвия, но вызывает пропорциональное возрастание изгибающих нагрузок на нож. Поэтому у таких ножей увеличивают толщину лезвия, чтобы задать изделию необходимую прочность. Увеличение толщины ножа, а, следовательно, и площади поперечного сечения и массы, негативным образом сказывается на качестве получаемого в процессе измельчения продукта, так как массивный нож начинает сильно деформировать волокна мяса, выдавливая из них внутриклеточную связную жидкость. Кроме того, повышается температура фарша вследствие нагрева продукта от действия сил трения на режущую кромку и увеличивается время куттерования [8].

Из рис. 2 видно, что линия предельного износа режущей кромки ножа находится на расстоянии 10-15 мм от своего первоначального положения, при этом потеря металла от общей массы изделия составляет не более 15%.

То есть нож, имея до 85% неиспользуемого конструкционного материала, выбраковывается, и заменяется новым. Очевидно, что такое использование остаточного ресурса материала ножей куттеров крайне неэффективно и требует кардинального изменения. Известные же способы сварки и наплавки, позволяющие восстанавливать первоначальные размеры ножей куттеров, не отвечают санитарно-гигиеническим требованиям, поскольку продуктами коррозии наплавленного металла ухудшаются пищевые свойства фарша [9]. Применение сборных конструкций ножей затруднено по причине их низкой прочности. Поэтому предлагаемое конструктивно-технологическое совершенствование ножей позволит решить важную проблему повышения долговечности и ремонтпригодности режущего инструмента ножей куттеров.

Результатом проведенного анализа является разработка такой конструкции ножей куттеров, которая позволит повысить их долговечность, снизить трудоемкость изготовления и восстановления, обеспечив при этом высокие показатели ресурсосбережения. Поставленная цель достигается за счет выполнения ножа куттера,

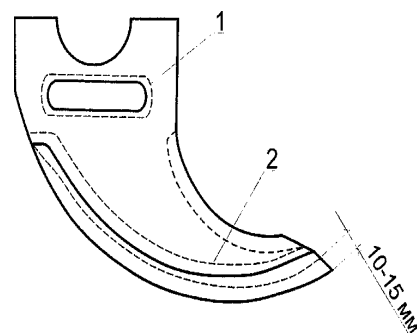


Рис. 2 – Предельное износное состояние ножа куттера: 1 - посадочная часть, 2 - линия предельного износа режущей кромки

содержащего лезвие 1 серповидной формы и посадочную часть 2, составным из плотно прилегающих и копирующих форму друг друга наружных 3, 5 и внутренней 4 пластин. Толщина h пластин кратна общей толщине H ножа (рис. 3). Причём пластины образуют на серповидной поверхности ножа режущую плоскость 6 с общим углом наклона и соединены между собой по контуру потайными заклёпками 7. Предлагаемая конструкция позволяет повысить долговечность ножа куттера за счет многослойной структуры лезвия. Наличие пластин, изготовленных из конструкционных материалов с различными физико-механическими свойствами, обеспечит изделию требуемую износостойкость, а также повысит его способность поглощать энергию знакопеременных ударных нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации, и увеличит стойкость к изгибающим и крутящим воздействиям нагрузки. При выработке ресурса нож восстанавливается путем выборочной замены изношенных пластин на новые с последующей перезаточкой режущей кромки [10].

Использование предлагаемой конструкции позволяет достичь следующих результатов. Повышается долговечность ножа, так как его многослойная структура

снижает вероятность разрушения одновременно всех пластин. В результате уменьшения толщины пластин, составляющих нож, существенно уменьшится усилие резки, снизится вероятность образования микротрещин и сколов по контуру лезвия и появится возможность получения заготовок резкой из тонкого листового проката, благодаря чему изготовление ножей куттеров станет более универсальным.

Основой предлагаемой технологии изготовления ножей куттеров является резка заготовок в специальном устройстве. Резка осуществляется режущей кромкой инструмента, совершающей в вертикальной плоскости перемещения постоянной частоты. Данная схема позволяет при наличии копира простейшей конструкции вырезать любые лекальные кривые, а также получать криволинейные отверстия в заготовках из тонкого листового проката [11]. Восстановление режущих свойств выбракованных ножей куттеров предлагаемой конструкции заключается в замене изношенных пластин ножей на ремонтные. Это позволит эффективнее использовать остаточный ресурс ножей, тем самым повысить их долговечность и обеспечить высокую ремонтно-

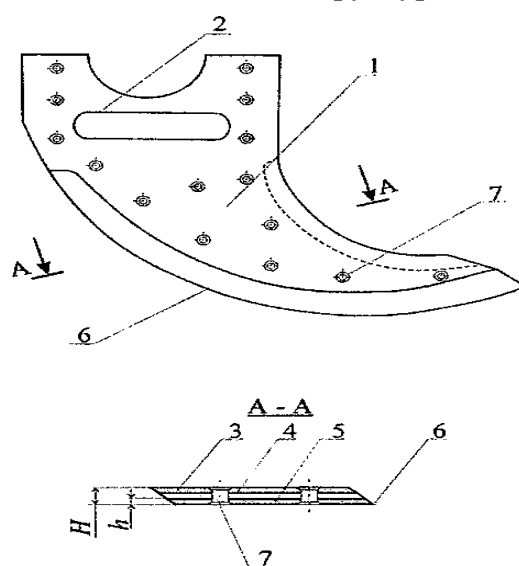


Рис. 3 – Экспериментальный нож куттера

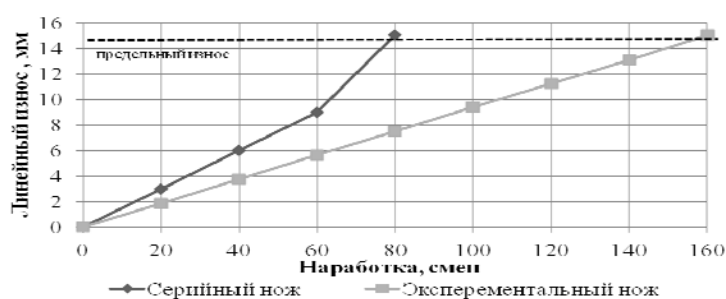


Рис. 4 – Износостойкость ножей куттера

Кривые, представленные на рис. 4, характеризуют повышение износостойкости экспериментальных ножей. Графическими построениями установлено, что относительная износостойкость экспериментальных ножей составляет 1,6. Это обусловлено, прежде всего, тем, что многослойная конструкция ножа позволяет уменьшать угол резания лезвия ножа и снизить напряженное состояние его режущей кромки.

Експериментальний комплект режущого інструмента куттера дозволив збільшити продуктивність процесу куттерівання на 30 % по порівнянню з серійним. За 4 годин експлуатації куттера, обладнаного серійним інструментом, продуктивність знизилася на 13 %, а експериментальним - на 8 % (рис. 5).

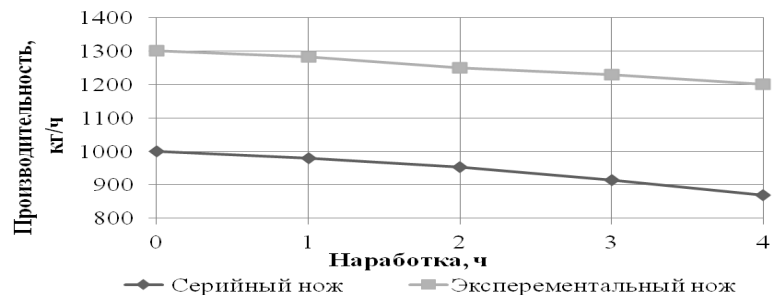


Рис. 5 – Продуктивність куттера

Следовательно, експериментальні ножі забезпечують стабільно високу продуктивність процесу тонкого измельчення м'ясного сиров'я.

Выводы

Проведений аналіз, свідчить про перевагу експериментального комплекту ножів куттера над серійними по своїм експлуатаційним характеристикам. Основною причиною цього є висока зносостійкість і стійкість до затуплення експериментальних ножів куттерів.

Список литературы: 1. Кавецкий Г. Д., Королев А. В. Процессы и аппараты пищевых производств. - М.: Агропромиздат. 1991. - 431 с. 2. Зотова Л. В. Критерий эффективности долговечности и надежности техники. - М.: "Экономика", 1983.- 103 с. 3. Сопко В. В. Издержки производства и себестоимость продукции и пищевой промышленности. - Киев: Техника, 1986. - 184 с. 4. Резник Н. Е. Классификация режущих аппаратов и видов износа лезвий рабочих органов. /В кн. Повышение износостойкости и долговечности режущих элементов машин. - М.: ОНТИ ВИСХОМ, 1971. - С. 3-22. 5. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. - М.: Машиностроение, 1975. - 311 с. 6. Прейс Г. А., Сологуб Н. А., Некоз А. И. Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности. /Под ред. Г. А. Прейса. - М.: Машиностроение, 1979. - 207 с. 7. Прейс Г. А. Повышение износостойкости деталей оборудования предприятий пищевой промышленности. - М. - Киев: Машгиз, 1963. - 678 с. 8. Роль сил трения в износе режущих инструментов. //Сб. науч. тр. /Под ред. А. Д. Макарова. - Уфа, 1974. - 104 с. 9. Журавская Н. К., Алехина Л. Т., Отрященкова. Л. М. Исследование и контроль качества мяса и мясопродуктов. - М.: Агропромиздат, 1985. - 296 с. 10. Патент №2157734 /РФ/ МКИ В02С18/20 Нож куттера. Рудик Ф. Я., Гутуев М. Ш., Пахарев А. В. №99104382 Заявл. 05.03.1999 Оpubл. в Б.И.№29 от 20.10.00 г. - 6 с. 11. Патент №2062178/РФ/ Устройство для резки листового проката/ Е. Ф. Колетурин, С. А. Богатырев, опубл. в БИ №17, 1996.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 637.5.002.5

Улучшение эксплуатационных характеристик куттеров путем создания новой конструкции ножей / С.А. Гринь, О.М. Филенко, А.А. Телюк // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 14-19. – Бібліогр.: 11 назв.

У статті представлені результати експериментальних досліджень експлуатаційних характеристик ножів куттера. Також представлена нова конструкція ножа, що дозволяє підвищити робочі характеристики куттера і ремонтпридатність виробу.

Ключові слова: ножі куттера, підвищення зносостійкості, фарш, подрібнення, різання.

In the article the results of experimental researches of operating descriptions of knives of cutter. Is also presented the new construction of knife, allows increasing the performance and maintainability of the cutter.

Key words: knives of cutter, increase of wearproofness, stuffing, grindings down, cutting.

УДК 669.056.9

Л. А. ТИМОФЕЄВА, д-р техн. наук, проф., УкрДАЗТ, Харків;

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТЯ

В роботі проведено металографічні, лабораторні дослідження на знос, рентгеноспектральний та фазовий аналіз покриття, яке наноситься із водних розчинів солей на залізовуглецеві сплави, що працюють в умовах тертя; встановлено залежності між технологічними параметрами процесу та експлуатаційними властивостями утвореного покриття.

Ключові слова: технологічні параметри, експлуатаційні властивості, покриття, паротермічна обробка сплавів, зносостійкість, мікроструктура сплавів

Вступ. У більшості випадків техніка виходить з ладу внаслідок зносу вузлів тертя: руйнується тільки робоча поверхня деталі, яку можна захистити нанесенням шару матеріалу зі спеціальними властивостями. Широке застосування покриттів обумовлене різноманіттям матеріалів, які можна нанести, а це дає можливість моделювання широкого діапазону властивостей поверхонь, способів нанесення, дозволяє отримати економію дорогих матеріалів і високу ефективність.

Аналіз останніх досліджень та літератури. У зарубіжній та вітчизняній практиці розроблено ряд методів підвищення триботехнічних властивостей матеріалів. Аналіз методів [1], що використовуються для покращення експлуатаційних властивостей робочої поверхні, показує, що вони трудомісткі, тривалі, вимагають застосування шкідливих і дефіцитних хімікатів і складного обладнання. Перспективним напрямком підвищення зносостійкості пар тертя є метод хіміко-термічної обробки залізовуглецевих сплавів з використанням водних розчинів солей [2]. Пропонується застосування водного розчину алюмохромфосфатної солі (АХФС) [3] з використанням технології обробки деталей у парогазовому середовищі для підвищення триботехнічних властивостей пари тертя шестерня – корпус [4], що веде до подовження строку служби масляного насосу системи змащення двигунів внутрішнього згоряння.

Мета досліджень, постановка проблеми. Встановити залежності між параметрами технологічного процесу обробки в парогазовому середовищі водного розчину АХФС та експлуатаційними властивостями утвореного покриття на робочих поверхнях пар тертя. Визначити значення технологічних параметрів процесу, які впливають на формування оптимальних експлуатаційних властивостей покриття.

Матеріали досліджень. Для проведення металографічних та лабораторних досліджень на знос хіміко-термічна обробка виконувалася на зразках виготовлених із сірого чавуну, і сталі 40Х, що використовуються для виготовлення пари тертя шестерня – корпус масляного шестеренного насосу. Основними параметрами технологічного процесу нанесення покриттів із парогазового середовища є температура обробки деталей, концентрація солі у водному розчині та час витримки в насичуючому середовищі. Від цих параметрів залежить формування поверхневого шару, а також його експлуатаційні властивості.

Обробка поверхні матеріалів здійснювалася перегрітою парою водного розчину АХФС концентрацією 10% при температурі $600 \pm 20^\circ\text{C}$, час витримки в насичуючому середовищі склав 40 хвилин, з наступним охолодженням в маслі.

Металографічні дослідження зразків проводилися за допомогою мікротвердоміру ПМТ-3 та мікроскопу „NEOPHOT 2” на прямих та косих шліфах до травлення поверхні

та після (рис.1). Рентгеноспектральний аналіз зразків проводився на скануючому вакуумному кристал-дифракційному спектрометрі „Спрут”-В в діапазоні довжин хвиль $0,4\div 11\text{\AA}$. Дослідження фазового складу зразків виконувалося на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-4.

Дослідження на знос проводилися на машині тертя МІ - 1 в маслі М10Г2, зі зміною навантаження від 490Н до 1961Н, при фіксованому значенні часу випробування. Для кожного варіанту порівняльних випробувань бралися по три пари зразків.

Оцінка зносу проводилася показали, що після нанесення покриття на поверхні зразків виявили наявність таких методом зважування зразків на аналітичних терезах ВЛ-200.

Результати аналізу хімічних елементів як алюміній $Al=0,5\%$; фосфор $P=1,37\%$; хром $Cr=0,47\%$.

Як показали результати фазового дослідження, основними фазами (кристалічними) на сталевих і на чавунних зразках являються Fe_2O_3 та Fe_3O_4 . Насамперед, потрібно звернути увагу на фон, який збільшується з зростанням кута дифракції, що характерно для матеріалів, які мають в своєму складі значний відсоток аморфної складової.

Враховуючи хімічний склад покриття, не можна виключати наявність фази $FeCr_2O_4$, яка за своїми параметрами дуже близька до Fe_3O_4 . Сліди α -Fe також можна спостерігати на одержаних рентгенограмах. Це випромінювання від основи зразка. Сліди інших кристалічних фаз, практично, відсутні.

Для встановлення залежностей між параметрами технології нанесення покриттів із парогазового середовища та експлуатаційними властивостями покриття: зносом, коефіцієнтом тертя, товщиною покриття було виконано множинний регресійний аналіз за допомогою програми Statistica (рис.2, 3). Технологічні параметри процесу обробки деталей варіювалися в наступних межах: концентрація (С) АХФС в насичуючому середовищі в межах 2 - 20%; час витримки деталей (τ) в насичуючому середовищі від 10 до 100хв.; температура (t) насичуючого середовища змінювалася від 250 до 700 $^{\circ}$ С.

Регресійний аналіз дозволив визначити значення технологічних параметрів процесу, які впливають на формування оптимальних експлуатаційних властивостей покриття. Проводячи аналіз одержаних залежностей, визначили, що оптимальні експлуатаційні властивості поверхні пари тертя шестерня – корпус масляного шестеренного насосу системи змащення двигунів внутрішнього згоряння, забезпечуються застосуванням запропонованої технології поверхневої обробки, коли технологічні параметри знаходяться в межах: температура обробки в насичуючому середовищі t від 550 до 650 $^{\circ}$ С, час витримки в насичуючому середовищі τ від 30 до 40 хв., концентрація $CrAl_3(H_2PO_4)_{8,8-9,6}$ у водному розчині С від 8 до 14 %.

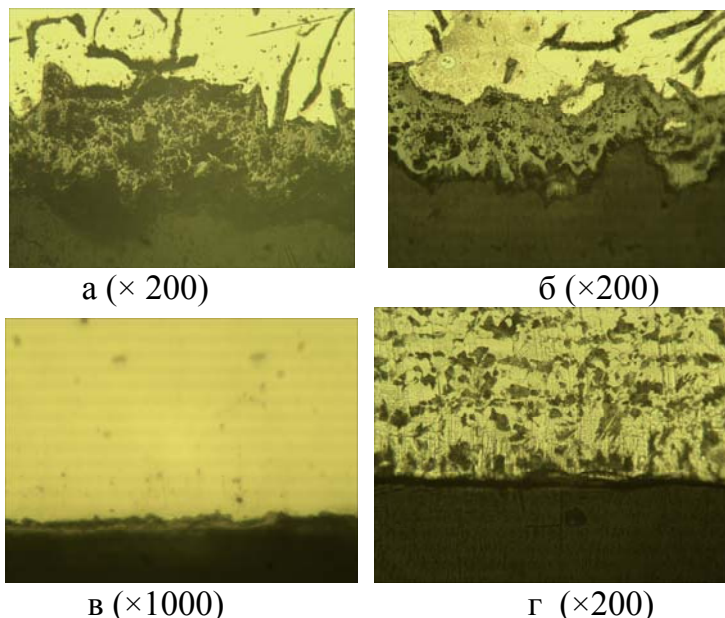


Рис. 1 – Мікроструктура зразків – мікроструктура чавуна з покриттям до травлення (косий шліф), б – мікроструктура чавуна з покриттям після травлення (косий шліф), в – мікроструктура сталі з покриттям до травлення, г – мікроструктура сталі після травлення

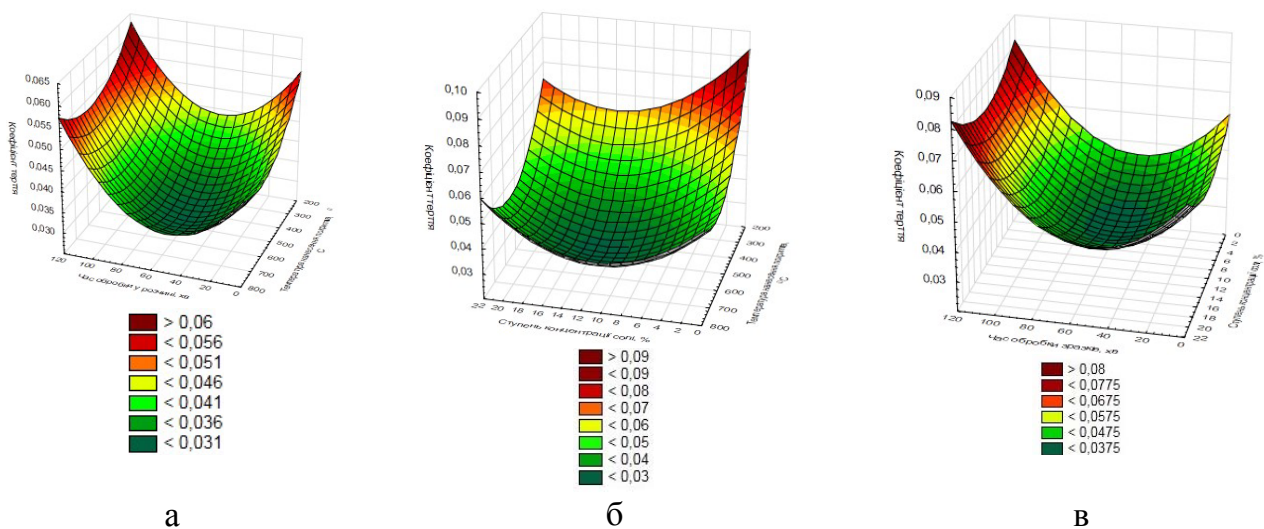


Рис. 2 – Залежність коефіцієнту тертя від технологічних параметрів процесу обробки: а - зносу коефіцієнту тертя f_{fr} від температури обробки t, C° та часу витримки в насичуючому середовищі $\tau, хв$; б - коефіцієнту тертя f_{fr} від температури обробки t, C° та ступеня концентрації розчину $C, \%$; в - коефіцієнту тертя f_{fr} від часу витримки в насичуючому середовищі $\tau, хв$ та ступеня концентрації розчину $C, \%$

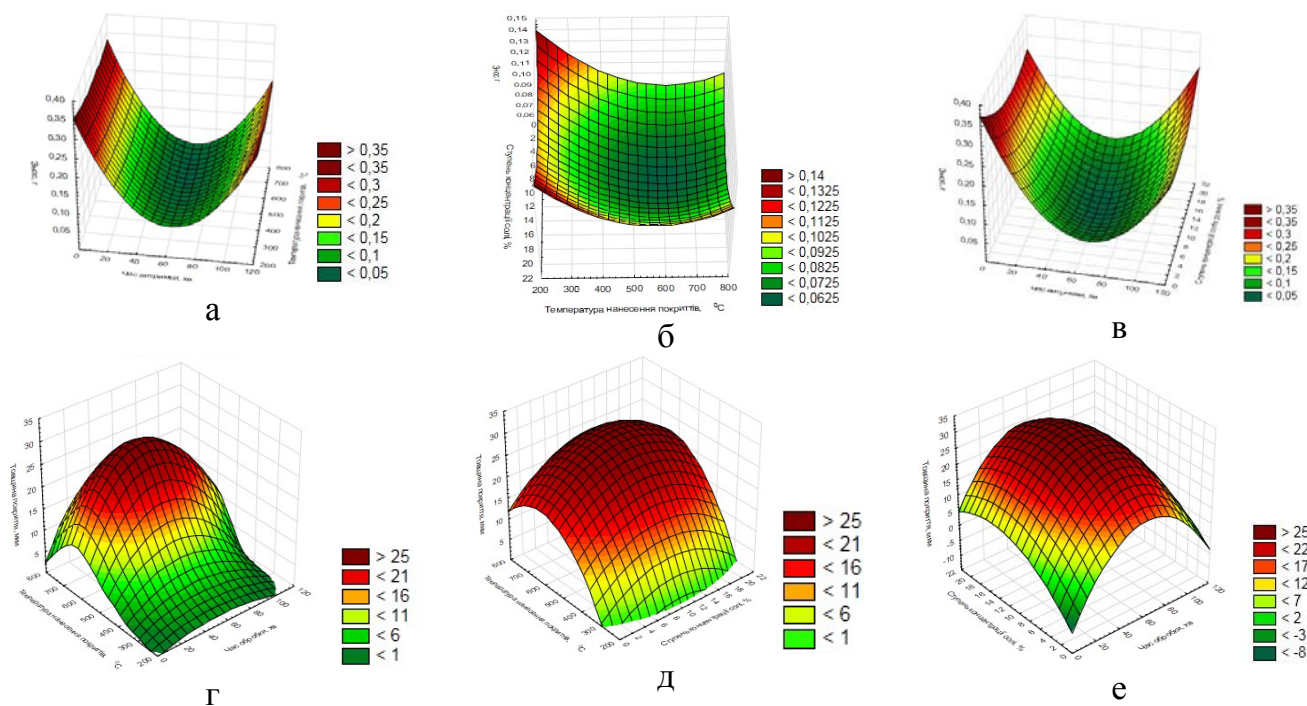


Рис. 3 – Залежності експлуатаційних властивостей покриття від технологічних параметрів процесу обробки: а - зносу J від ступеня концентрації розчину C ; б - зносу J від температури обробки, t ; в - зносу J від часу витримки в насичуючому середовищі τ ; г - товщини покриття h від ступеня концентрації розчину C ; д - товщини покриття h від часу витримки в насичуючому середовищі τ , е - товщини покриття h від температури обробки t

Результати досліджень. На основі результатів проведеного фазового аналізу можна зробити висновок, що покриття має аморфну структуру. При нанесенні покриття відбуваються процеси, які ведуть до утворення оксидів (Fe_2O_3) та шпінелей (Fe_3O_4).

Проведений аналіз одержаних залежностей, показав, що оптимальні експлуатаційні властивості поверхні: знос $J \rightarrow \min$; коефіцієнт тертя $f_{fr} \rightarrow \min$ забезпечуються застосуванням запропонованої технології поверхневої обробки тоді, коли технологічні

параметри будуть знаходитися в межах: температура обробки в насичуючому середовищі $550^{\circ}\text{C} \leq t \leq 650^{\circ}\text{C}$, час витримки в насичуючому середовищі $30 \leq \tau \leq 40$ хв., концентрація алюмохромфосфатної солі у водному розчині $8\% \leq C \leq 14\%$.

Висновки. Обробка деталей масляного насоса в парогазовому середовищі водного розчину АХФС має такі переваги: підвищення експлуатаційних властивостей пар тертя, за рахунок утворення на поверхні деталей аморфних структур, оксидів (Fe_2O_3) та шпінелей (Fe_3O_4); скорочення періоду припрацювання пари тертя; значне скорочення часу на обробку деталі порівняно з традиційними технологіями ХТО; забезпечення дифузійного насичення у важкодоступних місцях.

Список літератури: 1. *Ляхтин, Ю. М.* Поверхностное упрочнение сталей и сплавов [Текст] / Ю. М. Ляхтин // Металловедение и термическая обработка металлов. - 1988. - № 11. - С.14-25. 2. *Тимофеева, Л. А.* Научные и практические основы экологически чистой химико-термической обработки железоуглеродистых сплавов с использованием водных растворов солей [Текст]: автореф. дис. д-ра.техн.наук: 05.16.01 – Киев, ИПМ-1992. - 29с. 3. Спосіб хіміко-термічної обробки деталей із металів та сплавів [Текст]: Патент України №45841А: В22F3/24 / Тимофеева Л. А., Проскурина Л. В., Тимофеев С. С., Федченко І. І.; заявник та патентовласник УкрДАЗТ. - №2001075170; заявл.19.07.2001; опубл. 15.04.2002, Бюл.№4. 4. *Тимофеева, Л. А.* Повышение эксплуатационных характеристик деталей масляного насоса двигателя СМД 60 [Текст] / Л. А. Тимофеева, Л. В. Проскурина, С. С. Тимофеев // Високі технології в машинобудуванні. Зб. наук. пр. НТУ „ХПІ”. - Харків, 2001. Вип.1 (4). – С. 263 – 265.

Надійшла до редколегії 06.12.2012

УДК 669.056.9

Визначення технологічних параметрів процесу обробки в залежності від експлуатаційних властивостей покриття / Л. А. Тимофеева, Л. В. Волошина, // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 20-23. – Бібліогр.: 4 назв.

В работе проведены металлографические, лабораторные исследования на износ, рентгеноспектральный и фазовый анализ покрытия, которое наносится из водных растворов солей на железоуглеродистые сплавы, работающие в условиях трения; установлены зависимости между технологическими параметрами процесса и эксплуатационными свойствами образованного покрытия.

Ключевые слова: технологические параметры, эксплуатационные свойства, покрытия, паротермическая обработка сплавов, износостойкость, микроструктура сплавов

In work metallographic, laboratory researches on wear, the X-ray spectral and phase analysis of a covering which is put from water solutions of salts on the iron-carbon alloys working in the conditions of friction are conducted; dependences between technological parameters of process and operational properties of an educated covering are established.

Keywords: technological parameters, operational properties, coverings, vapourthermal treatment of alloys, wear resistance, microstructure of alloys.

УДК 621.7.044

В. Е. ЗАЙЦЕВ, д-р техн. наук, доц., НАУ «ХАИ», Харьков;
А. П. БРАГИН, канд. техн. наук, в.н.с., НАУ «ХАИ», Харьков;
С. А. ПОЛТАРУШНИКОВ, канд. техн. наук, доц., НАУ «ХАИ», Харьков;
А. А. ХОДЬКО, аспирант, НАУ «ХАИ», Харьков

ОДИН ИЗ НОВЫХ ВАРИАНТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЦИКЛА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Проведен анализ существующих технологий гидродинамической штамповки на пресс-пушках,

© В. Е. ЗАЙЦЕВ, А. П. БРАГИН, С. А. ПОЛТАРУШНИКОВ, А. А. ХОДЬКО, 2012

отмечены их основные преимущества и недостатки. Определено направление дальнейшего развития гидродинамической штамповки как перспективной импульсной технологии. Рассмотрен новый способ – гравитационная гидродинамическая штамповка, приведена методика расчета параметров для его реализации. Рассмотрены варианты расширения технологических возможностей способа.

Ключевые слова: импульсные технологии, гидродинамическая штамповка, пресс-пушка, энергоноситель, калибровка.

Введение. Импульсные способы обработки металлов давлением (ОМД) нашли широкое применение в условиях современного производства летательных аппаратов. Главной их особенностью является то, что работа пластического формоизменения исходной заготовки выполняется в результате ее нагружения кратковременным импульсом сил высокой интенсивности [1].

Разработанный в Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» способ гидродинамической штамповки (ГДШ) является перспективным импульсным методом листовой штамповки с широким спектром технологического применения (в авиа-, ракето- и судостроении). Так, на ГП «Антонов» этот способ успешно реализован при изготовлении элементов высокоресурсных воздухопроводов противообледенительной системы и системы кондиционирования воздуха транспортных самолетов.

Анализ существующих технологий гидродинамической штамповки. Преимущества технологий ГДШ подтверждены производственным опытом [2]. Среди них: универсальность, возможность изготовления деталей сложной формы из листовых заготовок, возможность холодной обработки заготовок из труднодеформируемых высокопрочных сплавов, высокая точность и чистота поверхности получаемых деталей и т.д.

Сущность способа заключается в преобразовании кинетической энергии летящего тела-снаряда в потенциальную энергию сжатой жидкости, под воздействием которой деформируется заготовка (рис.1). Процесс ГДШ осуществляется на установках работающих на пороховом энергоносителе – пресс-пушках.

Многоэтапность процесса трансформации и энергии (от горения пороха до деформирования заготовки в конечный продукт – деталь) является основной причиной нестабильности результатов ГДШ на пресс-пушках в условиях серийного производства, требует больших технологических энергозатрат и вызывает сложности в обслуживании оборудования.

Использование пороха в качестве энергоносителя приводит к возникновению ряда трудностей, обусловленных, в первую очередь, требованиями безопасности и необходимостью организации специальных условий труда. Поэтому в последнее время порох исключается из технологической линии ГДШ. Взамен порохового энергоносителя предлагается ряд априорных принципиальных конструктивных схем, в которых, тем не менее, остается неизменной технологическая зона, как и не меняется процесс энергетической трансформации от момента вылета снаряда из дульного среза до полного контакта заготовки с поверхностью формообразующей матрицы.

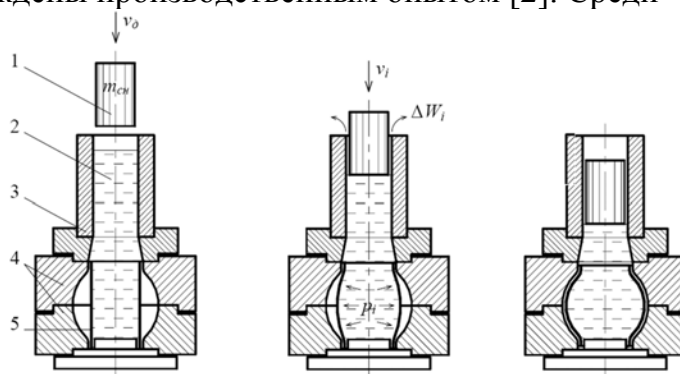


Рис. 1 – Принципиальная схема процесса ГДШ: 1 – снаряд; 2 – передающая среда; 3 – переходник ствола; 4 – оснастка; 5 – заготовка; $m_{сн}$ – масса снаряда; v_d – дульная скорость снаряда; v_i – текущая скорость снаряда; ΔW_i – различного рода потери; p_i – текущее значение давления в формующей камере

Снаряд при своем перемещении кинематически свободен как при разгоне, так и при торможении. Поэтому при его взаимодействии с передающей средой, в последней возникают пульсации давления и, соответственно, возможность кавитации. Принятые для теоретических расчетов допущения о взаимодействии снаряда с жидкостью являются некорректными по отношению к реальному процессу, и при сравнении результатов расчетов с реализованными параметрами дают большой разброс, который в серийном производстве приводит к изготовлению деталей с различными дефектами и отклонениями от заданного поля допусков.

Поэтому, с целью стабилизации конечных результатов процесса, а именно – получения качественных деталей в серийном варианте, следует предотвратить вышеописанные негативные моменты, сохранив при этом положительные стороны импульсной обработки. Для этого необходимо создать условия квазистатического режима.

Таким образом, дальнейшее развитие ГДШ как перспективной импульсной технологии ориентировано на создание новых конструктивных решений оборудования, в основе которых лежит уход от использования порохового энергоузла и замена его более безопасным и простым в эксплуатации, экологически чистым и стабильным аналогом, обеспечивающим бездефектное изготовление деталей путем нормализации поля давления внутри передающей среды за счет придания импульсу давления квазистатического характера и устранения, тем самым, волновых колебательных процессов и кавитации.

Способ гравитационной гидродинамической штамповки. Представляющим интерес способом возможного решения указанных проблем без использования специальных энергоносителей, оборудования и устройств для обеспечения эксплуатационного цикла функций снаряда является гравитационная гидродинамическая штамповка [3].

Основной особенностью способа является то, что внешнее нагружение для реализации процесса штамповки создается самим устройством с использованием силы гравитации.

В отличие от ствольных установок для гидродинамической штамповки, где снаряд до контакта с передающей средой разгоняется в стволе, создавая ряд вышеописанных негативных факторов, поршень рассматриваемого устройства изначально находится с ней в безззорном контакте. За счет этого импульс давления развивается в квазистатическом режиме, без пульсаций и существенных колебаний давления в объеме передающей среды. Кроме того, поршень в процессе нагружения им передающей среды оказывается кинематически ограниченным между жидкостью и твердой преградой, что ограничивает его свободные колебания. В результате процесс деформирования заготовки в деталь принимает установившийся характер, чем обеспечивается стабильность результатов штамповки.

На рис. 2 изображена принципиальная кинематическая схема гравитационной гидродинамической штамповки: а – начальное состояние системы; б – состояние системы в момент подлета к жесткой опоре; в – состояние системы на последней стадии штамповки.

Способ заключается в том, что трубчатую заготовку устанавливают с натягом по краям в матрицу, охваченную обоймой для предотвращения раскрытия ее стыка во время штамповки. Установка комплекта «обойма-матрица-заготовка» осуществляется на основании устройства над цилиндром с находящимся в нем поршнем. Поршень и цилиндр представляют собой плунжерную пару, при этом поршень имеет хвостовик меньшего диаметра, свободно выступающий из нижнего отверстия цилиндра и имеющий на конце ограничительный пояс с демпфером, заканчивающимся сферической

поверхностью. Полости внутри заготовки и цилиндра над поршнем доверху заполняют жидкой передающей средой. Закрывают сверху обойму и матрицу крышкой и скрепляют ее с основанием резьбовыми стяжками, образуя штамповый блок. Собранный механизм поднимают любым подъемником над жесткой опорой на расчетную высоту и устанавливают хвостовиком поршня вниз на убираемые фиксаторы. Для проведения штамповочной операции фиксаторы одновременно убирают, и устройство, под действием собственного веса, свободно падает вниз, накопив к концу свободного падения необходимую кинетическую энергию. При соударении демпфера хвостовика с жесткой опорой (шаботом) поршень проталкивается внутрь цилиндра, создавая импульсное давление в передающей среде, которое, действуя на заготовку, выкладывает ее по матрице. Сферическая поверхность демпфера хвостовика поршня обеспечивает компенсацию перекоса при ударе штампового блока о шабот.

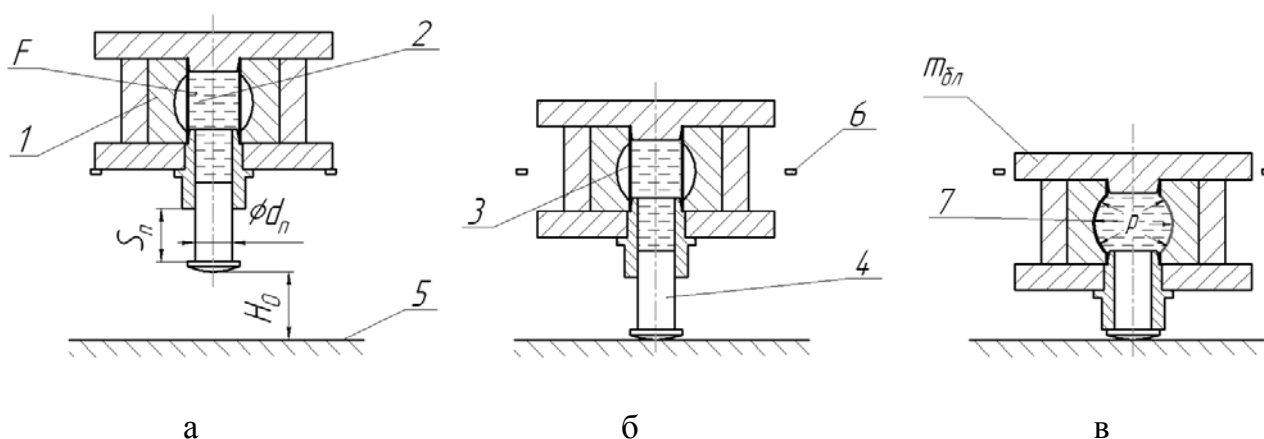


Рис. 2 – Кинематическая схема гравитационной гидродинамической штамповки: 1 – штамповый блок; 2 – передающая среда; 3 – заготовка; 4 – поршень; 5 – жесткая опора; 6 – фиксаторы; 7 – отштампованная деталь; F – формующая камера; d_n – диаметр поршня; S_n – ход поршня; H_0 – расчетная исходная высота системы; $m_{бл}$ – масса штампового блока; p – давление внутри формующей камеры

Суммарная масса всех элементов штампового блока должна обеспечивать накопление кинетической энергии при свободном падении с расчетной высоты, которая необходима и достаточна для создания импульса давления, формирующего заготовку.

Необходимые для реализации процесса штамповки параметры обеспечиваются комбинацией массы устройства, высотой его падения, диаметром поршня и его ходом.

Ход поршня, умноженный на площадь его дна, должен равняться объему передающей среды, которая заполняет полость проштамповки (полость между заготовкой и матрицей), с коэффициентом, определенным экспериментально. То есть, объем равен:

$$W_{ш} = \frac{\pi d_n^2}{4} \cdot S_n \cdot k, \quad (1)$$

где S_n , d_n – ход и диаметр поршня, соответственно; $k \geq 1$ – коэффициент заполнения.

Время заполнения данной полости определяет скорость деформирования, которая должна отвечать рекомендуемым справочным величинам для штампуемого материала. Средняя скорость деформирования равна:

$$V_{деф} = \frac{W_{ш}}{t}, \quad (2)$$

где t – время заполнения полости проштамповки, равное:

$$t = \frac{W_{ш}}{V_{деф}}. \quad (3)$$

С другой стороны:

$$t = \frac{S_n}{V_{ол}} = \frac{S_n}{\sqrt{2gH_0}}, \quad (4)$$

где $V_{ол}$ – скорость падения штампового блока, равная:

$$V_{ол} = \sqrt{2gH_0}, \quad (5)$$

где H_0 – исходная высота системы.

Из этих зависимостей выводятся разные комбинации d_n и S_n , выбор которых определяется технологом.

Кинетическая энергия приобретенная блоком при падении равна:

$$E_k = \frac{m_{ол} V_{ол}^2}{2}, \quad (6)$$

где $m_{ол}$ – масса штампового блока за исключением массы поршня.

Приобретенная штамповым блоком кинетическая энергия трансформируется в энергию давления жидкости, воздействующую затем на помещенную в камеру заготовку или другой объект обработки давлением. Величину давления можно определить по методике, приведенной графически на рис. 3 или по формуле Тэта, которую для инженерных расчетов может применяться в упрощенном виде:

$$A_{жс} = \frac{P_{\max}^2 \cdot W_0}{2K}, \quad (7)$$

где: $A_{жс}$ – работа адиабатного сжатия жидкости; $P_{\max}$ – максимальное давление внутри формирующей камеры создаваемое под действием силы гравитации; W_0 – первоначальный объем жидкости; K – модуль объемного сжатия жидкости, равный для пресной воды 22000 кгс/см².

Расширение технологических возможностей способа. Большинство заготовок, из которых штампуют детали, методом гидродинамической штамповки на начальном этапе имеют малую жесткость. Процесс деформирования заготовки при изготовлении деталей сложной формы можно разделить на два этапа: образование генерального контура и оформление элементов рельефа. Жесткость детали в процессе деформирования резко возрастает, поэтому для оформления элементов рельефа и калибровки требуются высокие давления. В некоторых случаях энергозатраты на образование элементов рельефа могут в несколько раз превысить затраты на формообразование контура.

При штамповке деталей из тонколистовых материалов оптимальным следует считать такое нагружение, когда при оформлении генерального контура заготовка приходит к матрице с минимальной скоростью, а затем происходит калибровка и оформление элементов рельефа высоким давлением. Создание таких условий нагружения связано с определенными трудностями, поэтому обычно штамповку деталей производят за несколько переходов, первые из

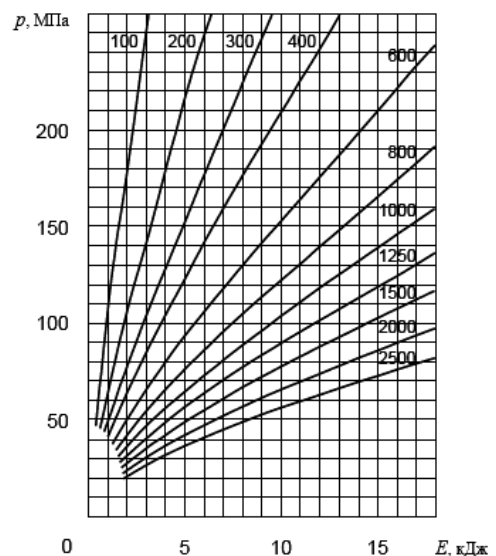


Рис. 3 – Зависимость давления от энергии удара при различных объемах жидкости (см³)

которых являются формообразующими, а последние – калибровочными. Однако это увеличивает трудоемкость изготовления деталей.

Вышеописанный способ гидродинамической штамповки не предусматривает обеспечения высокого импульса давления на конечной стадии процесса штамповки. Это приводит к тому, что изготовление деталей сложной формы, в особенности, деталей, которые требуют высокого калибровочного давления, необходимо проводить за несколько переходов. Тем самым увеличивается трудоемкость изготовления детали.

В работе [4] рассмотрено расширение технологических возможностей гравитационной гидродинамической штамповки за счет создания дополнительного импульса давления для калибровки детали. Предложено нагружать передающую среду двумя последовательными импульсами давления. Первый, из которых служит для образования генерального контура детали, а второй, калибровочный, – для оформления элементов рельефа.

Импульс давления, образующий генеральный контур детали, создают аналогично рассмотренному выше способу гравитационной гидродинамической штамповки. Как и основной, калибрующий импульс давления предложено создавать за счет использования силы гравитации. Для этого в устройстве предусмотрена дополнительная плунжерная пара, и калибрующее давление в передающей среде возникает за счет проталкивания калибрующим грузом, падающим с высоты, калибрующего поршня в формующую камеру.

На рис. 4 представлена принципиальная кинематическая схема гравитационной гидродинамической штамповки с калибровкой: а – исходное состояние системы; б – состояние системы на стадии штамповки; в – состояние системы на стадии калибровки.

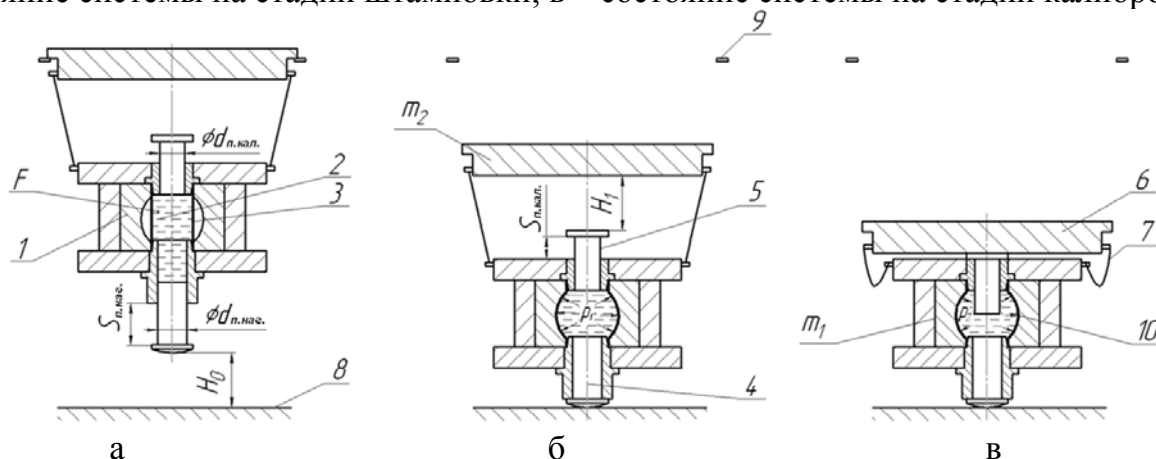


Рис. 4 – Кинематическая схема гравитационной гидродинамической штамповки с калибровкой: 1 – штамповый блок; 2 – передающая среда; 3 – заготовка; 4 – нагружающий поршень; 5 – калибрующий поршень; 6 – калибровочный груз; 7 – цепи; 8 – жесткая опора; 9 – фиксаторы; 10 – отштампованная деталь; $d_{п.наг.}$ – диаметр нагружающего поршня; $d_{п.кал.}$ – диаметр калибрующего поршня; $S_{п.наг.}$ – ход нагружающего поршня; $S_{п.кал.}$ – ход калибрующего поршня; H_0 – расчетная исходная высота системы; H_1 – расчетное исходное расстояние между грузом и калибрующим поршнем; m_1 – масса штампового блока; m_2 – масса калибровочного груза; F – формующая камера; p_1 – давление на стадии штамповки; p_2 – давление на стадии калибровки

Параметры нагружения формующей жидкости при этом способе гидродинамической штамповки задаются комбинацией массы штампового блока и калибровочного груза, соответствующей высотой их падения, диаметрами нагружающего и калибрующего поршней и длинами их ходов.

Высота падения калибровочного груза:

$$H = H_0 + S_{п.наг.} + H_1, \quad (8)$$

где $S_{п.наг.}$ – ход нагружающего поршня; H_1 – исходное расстояние между грузом и калибрующим поршнем.

Значение величины калибровочного давления рассчитывается графически (рис. 3) или по формуле (7).

Таким образом, процесс создания дополнительного импульса давления в формующей камере (для калибровки детали) происходит за счет действия силы гравитации, совместно с основным этапом штамповки и не требует использования специальных энергоносителей (подъем груза осуществляется совместно со всем штамповым блоком). За счет этого снижается трудоемкость и энергозатраты на производство деталей.

С целью возможности автоматизированного управления параметрами калибрующего импульса давления передающей среды предложен способ его создания действием электромагнитных сил [5]. Его принципиальная кинематическая схема представлена на рис. 5: а – исходное состояние системы; б – состояние системы на стадии штамповки; в – состояние системы на стадии калибровки.

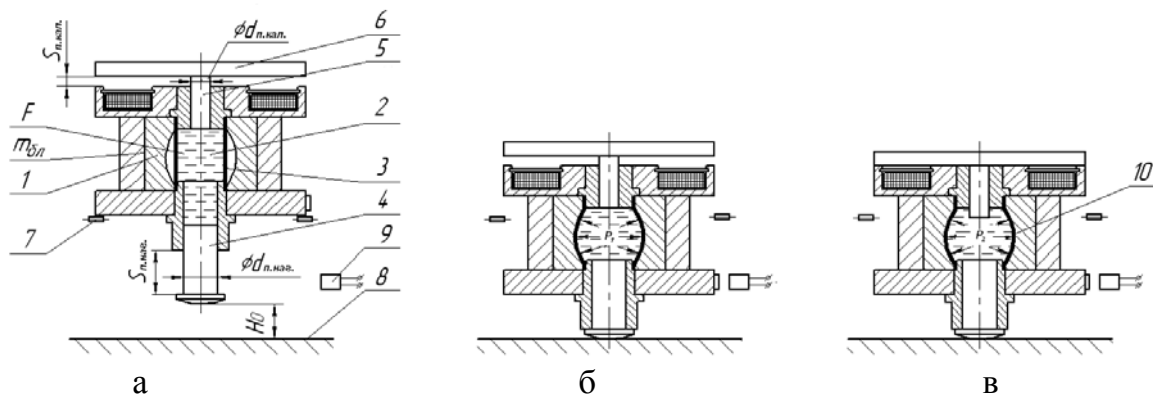


Рис. 5 – Кинематическая схема гидродинамической штамповки с калибровкой при помощи электромагнитных сил: 1 – штамповый блок; 2 – передающая среда; 3 – заготовка; 4 – нагружающий поршень; 5 – калибрующий поршень; 6 – якорь электромагнита; 7 – фиксаторы; 8 – жесткая опора; 9 – датчик положения; 10 – отштампованная деталь; $d_{п.наг.}$ – диаметр нагружающего поршня; $d_{п.кал.}$ – диаметр калибрующего поршня; $S_{п.наг.}$ – ход нагружающего поршня; $S_{п.кал.}$ – ход калибрующего поршня; H_0 – расчетная исходная высота системы; $m_{бл}$ – масса штампового блока; F – формующая камера; p_1 – давление на стадии штамповки; p_2 – давление на стадии калибровки

Этот способ предполагает создание калибровочного давления передающей среды путем внедрения калибрующего поршня в формующую камеру под действием силы тяги электромагнита. Процесс формирования генерального контура детали аналогичен вышерассмотренным способам. При достижении штамповым блоком своего крайнего нижнего положения, в момент когда нагружающий поршень полностью вошел в канал переходника ($S_{п.наг.} = 0$), срабатывает датчик положения, который подает сигнал в схему управления электромагнитом. Тот, при срабатывании, притягивает свой якорь, заталкивая калибрующий поршень в формующую камеру, создавая в ней калибровочное давление, равное:

$$P_2 = \frac{F_{\varepsilon}}{S_{п.кал.}}, \quad (9)$$

где F_{ε} – тяговое усилие электромагнита; $S_{п.кал.}$ – площадь дна калибрующего поршня.

Применение электромагнитных систем в качестве энергетического узла в оборудовании для ГДШ представляется очень перспективным в виду возможности

создания необходимых параметров давления формирующей жидкости и длительности импульса нагружения.

Вывод.

Рассмотренный в статье способ гравитационной гидродинамической штамповки представляется перспективным методом импульсной обработки металлов давлением. Внешнее нагружение для реализации процесса штамповки создается самим устройством с использованием силы гравитации, что исключает применение специальных энергоносителей, оборудования и устройств для обеспечения эксплуатационного цикла функций снаряда. Таким образом, процесс гравитационной гидродинамической штамповки не требует больших технологических энергозатрат и не вызывает сложности в обслуживании оборудования. Отказ от применения пороха позволяет решить ряд проблем, определяемых, в первую очередь, требованиями безопасности и необходимостью организации особых условий труда, повышает надежность и долговечность оборудования, не требует его изоляции от основного производства.

Нормализация поля давления внутри жидкостной передающей среды путем придания импульсу давления квазистатического характера позволяет устранить негативные волновые колебательные процессы в объеме передающей среды и кавитацию, в результате чего процесс деформирования заготовки в деталь принимает установившийся характер, что обеспечивает стабильность результатов штамповки. Возможность калибровки деталей сложной формы в процессе штамповки устраняет необходимость многопереходной штамповки и снижает трудоемкость изготовления деталей.

Список литературы: 1. Степанов В. Г. Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов / Степанов В. Г., Шавров И. А. – Л.: Машиностроение, 1975. – 278 с. 2. Мельничук А. П. Моделирование технологических процессов гидродинамической штамповки законцовок трубопроводов воздушных систем летательных аппаратов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04 – Х.: ХАИ, 2006. – 207 с. 3. Пат. 93598 Україна, МПК В 21 D 26/06. Спосіб гідродинамічної штамповки та пристрій для її здійснення / Брагін О. П., Бичков С. А., Зайцев В. Є., Полтарушников С. А.; Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (UA). – № a200907028, заявл. 06.07.2009; опубл. 25.02.2011, Бюл. №4. – 5 с. 4. Пат. 96191 Україна, МПК В 21 D 26/021, В 21 D 26/06. Спосіб гідродинамічного штампування та пристрій для його втілення / Брагін О. П., Зайцев В. Є., Полтарушников С. А., Федкович Ю. А.; Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (UA). – № a200912339, заявл. 30.11.2009; опубл. 10.10.2011, Бюл. №19. – 4 с. 5. Рішення про видачу патенту на винахід №21845/ЗА/12 від 19.09.2012 Україна, МПК В 21 D 26/06. Спосіб гідродинамічної штамповки та пристрій для його здійснення / Брагін О. П., Зайцев В. Є., Полтарушников С. А., Ходько О. О.; Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (UA). – № a201108357, заявл. 04.07.2011. – 2 с.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 621.7.044

Один из новых вариантов обеспечения энергетического цикла гидродинамической штамповки листовых деталей летательных аппаратов / В. Е. Зайцев, А. П. Брагин, С. А. Полтарушников, А. А. Ходько // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 66 (972). – С. 23-31. – Бібліогр.: 5 назв.

Проведено аналіз існуючих технологій гідродинамічної штамповки на прес-пушках, відзначені їх основні переваги та недоліки. Визначено напрямок подальшого розвитку гідродинамічної штамповки як перспективної імпульсної технології. Розглянуто новий спосіб – гравітаційне гідродинамічне штампування, наведено методику розрахунку параметрів для його реалізації. Розглянуто варіанти розширення технологічних можливостей способу.

Ключові слова: імпульсні технології, гідродинамічна штамповка, прес-пушка, енергоносії, калібровка.

Analysis of the existing technologies for hydrodynamic stamping on press-guns has been conducted; its advantages and disadvantages have been marked. The further development of the hydrodynamic stamping as a promising impulse technology has been determined. A new method – gravitational hydrodynamic stamping has been examined, the method of calculating of the parameters for its implementation has been described. The variants of the expansion of technological capabilities of the process have been examined.

Keywords: impulse technology, hydrodynamic stamping, press-guns, energy source, calibration.

УДК. 621.7.044

Р. Г. ПУЗЫРЬ, канд. техн. наук, доц. КрНУ им. М. Остроградского, Кременчуг

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Показаны преимущества использования слоистых материалов при изготовлении деталей и изделий машиностроения и судостроения. Детали, применяемые из таких материалов, подвергаются различным видам нагрузок, поэтому технология изготовления каждого конкретного изделия должна учитывать условия последующей эксплуатации. Листовой биметалл, подвергаемый плоскому деформированию, как правило, обладает анизотропией, неоднородностью механических свойств, обусловленной маркой материала и технологическими режимами его получения. Описывается напряженное состояние заготовки в очаге деформации с учетом механической неоднородности.

Ключевые слова: деформация, биметалл, технология, изгиб, вытяжка.

Введение. В плакированных металлах толщина плакирующего слоя колеблется от десятых долей до нескольких миллиметров, что значительно больше, чем слой лаков, красок, смол, различных пластиков, и обеспечивает более надежную защиту от коррозии [1]. Металлический плакирующий слой физически неразделим с основой при обработке и эксплуатации материала. Используемые в машиностроении двухслойные стали, состоящие из углеродистой или низколегированной основы и высоколегированного нержавеющей покрытия, изготавливают методом горячей совместной прокатки пакета из листов основы и покрытия либо прокаткой двухслойного слитка, полученного отливкой.

Анализ последних исследований и литературы. В последнее время в судостроении находит применение сталь, плакированная титаном [1, 2].. Наиболее экономичный и простой способ плакирования – соединение листов титана с листами низколегированной стали без промежуточных прослоек. Прочность на срез биметалла сталь – титан получается при этом выше прочности биметалла углеродистая сталь – нержавеющей сталь. Технология плакирования стали титаном остается той же, что и технология сочетания других металлов, но требует более тщательной очистки соединяемых поверхностей и нагрева пакета перед прокаткой в среде аргона. Функциональные возможности данного материала зависят от способа получения деталей из него. Детали, применяемые из таких материалов, подвергаются различным видам нагрузок, поэтому технология изготовления каждого конкретного изделия должна учитывать условия последующей эксплуатации. Из двухслойных композиций в судостроении изготавливают в основном детали обшивки корпуса и другие крупногабаритные детали, которые в процессе изготовления подвергаются пластическим деформациям на валковых машинах, гидравлических прессах, листогибочных станках. Деформирование биметаллов вносит свои особенности в процесс пластической деформации.

Цель исследований, постановка проблемы. Определение напряженного состояния заготовки с неоднородными механическими характеристиками в процессе

© Р. Г. ПУЗЫРЬ, 2012

пластической деформации с целью получения деталей с нужными эксплуатационными характеристиками.

Материалы исследований. Основной операцией для придания заготовке формы готового изделия является гибка. Предельные радиусы гибки зависят от пластических свойств композиции и характера изменения ее механических свойств в процессе изгиба. При слишком малом радиусе изгиба может произойти разрушение материала, а при большом радиусе возникают только упругие деформации обоих слоев или отдельно взятого покрытия. Однако следует учитывать, что гибка деталей ответственного назначения, для которых по условиям прочности конструкций не допускается снижение механических свойств материала, должна производиться на радиусы не менее 9 толщин листа [1]. При гибке на меньшие радиусы для восстановления механических свойств детали должны подвергаться отпуску при температуре 640-660°C и охлаждению после отпуска на воздухе. В ответственных деталях без последующей термической обработки допускается уменьшать только радиусы отгибки фланцев (с учетом местного характера деформации) до двух толщин листа при толщине < 10 мм и до пяти толщин листа при < 15 мм. Уровень изменения механических свойств при холодной гибке биметаллов зависит от относительного радиуса гибки и не зависит от способа ее выполнения: в вальцах, на гидравлическом прессе или листогибочном станке типа ЛГС. При относительном радиусе > 9 мм механические свойства стали снижаются в пределах, удовлетворяющих требованиям технических условий и ГОСТу.

Результаты исследований. В основном применяются трех- и четырехвалковые листогибочные вальцы открытого и закрытого типов. В индивидуальном и мелкосерийном производстве могут применяться комбинированные гибочно-правильные вальцы, предназначенные для правки и гибки листов. На листогибочных вальцах получают листы цилиндрической и конической формы. В случае применения специальной оснастки на вальцах можно изгибать детали в сферическую, седлообразную и угловую формы.

На станке ЛГС выполняют гибку и правку деталей углового профиля, гофрирование листов с различной формой гофров, прокатку заготовок цилиндрической, конической, сферической, парусовидной, седлообразной, веерообразной и волнообразной форм. Изгиб заготовки происходит благодаря раскатке и некоторому местному утонению материала. Заготовка, зажата с определенным давлением между ведущим роликом и нажимным диском, при вращении ведущего ролика получает поступательное движение в сторону его вращения. Заготовка может раскатываться по всей плоскости в любом направлении (разворачивая ее в момент изменения направления вращения ведущего ролика). Меняя направление вращения ведущего ролика и направление раскатки заготовки, а также величину усилия нажимного диска, производят раскатку любой части поверхности заготовки, придавая ей необходимую кривизну. С этой целью ведущий ролик станка выполнен с цилиндрическим участком и двумя ручьями, один из которых (сферической формы) предназначен для раскатки листов цилиндрической и конической формы с односторонней кривизной; второй ручей (с треугольной формой сечения) служит для гибки листов угловой и коробчатой формы. Цилиндрический участок ролика используется главным образом для вытяжки средней части листа при получении сферической и парусовидной формы, а также для раскатки кромок при изготовлении деталей седлообразной формы. Таким образом, наличие на ведущем ролике гладкой цилиндрической части и двух профильных ручьев обеспечивает выполнение холодной гибки листов различной формы без применения дополнительной оснастки.

Листовой биметалл, подвергаемый плоскому деформированию, как правило, обладает анизотропией, неоднородностью механических свойств, обусловленной маркой

материала и технологическими режимами его получения.

Для учета влияния неоднородности механических свойств многослойной заготовки можно пользоваться условием текучести Мизеса - Хилла - Олшака для анизотропного неоднородного материала [3]

$$K_{23}(x, y, z)(\sigma_y - \sigma_z)^2 + K_{31}(x, y, z)(\sigma_z - \sigma_x)^2 + K_{12}(x, y, z)(\sigma_x - \sigma_y)^2 + K_{44}(x, y, z)\tau_{yz}^2 + K_{55}(x, y, z)\tau_{zx}^2 + K_{66}(x, y, z)\tau_{xy}^2 = 1 \quad (1)$$

где $K_{i,j}$ – функции координат точек тела, характеризующие неоднородность и анизотропию; x, y, z – главные оси анизотропии; $\sigma_{i,j}$ – компоненты напряжений в главных осях анизотропии.

Принимается ассоциированный закон течения и считается [3], что функция текучести совпадает с пластическим потенциалом, устанавливается связь между скоростями деформации и напряжениями

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \lambda' [K_{12}(x, y, z)(\sigma_x - \sigma_y) + K_{31}(x, y, z)(\sigma_x - \sigma_z)] \\ \varepsilon_y &= \lambda' [K_{23}(x, y, z)(\sigma_y - \sigma_z) + K_{12}(x, y, z)(\sigma_y - \sigma_x)] \\ \varepsilon_z &= \lambda' [K_{31}(x, y, z)(\sigma_z - \sigma_x) + K_{23}(x, y, z)(\sigma_z - \sigma_y)] \end{aligned} \quad (2)$$

где $\varepsilon_{i,j}$ – компоненты скоростей деформаций; λ' – коэффициент пропорциональности.

В случае плоской деформации $\varepsilon_z = 0, \tau_{zx} = 0$. Из выражения (2) можно определить

$$\sigma_z = \frac{K_{31}(x, y)\sigma_x + K_{23}(x, y)\sigma_y}{K_{31}(x, y) + K_{23}(x, y)} \quad (3)$$

Условие текучести в случае плоской деформации и малости касательных напряжений запишется в виде

$$K(x, y) \times [K_{23}(\sigma_y - \sigma_z)^2 + K_{31}(\sigma_z - \sigma_x)^2 + K_{12}(\sigma_x - \sigma_y)^2] = 1 \quad (5)$$

Выводы. Применение биметаллов в машиностроении, судостроении и других отраслях промышленности позволит снизить вес конструкций за счет более полного использования комплекса механических характеристик присущим биметаллам, а это в свою очередь повлечет за собой уменьшение расходов на обслуживание машин, уменьшение расхода топлива, увеличение грузоподъемности и т.д. При проектировании технологии получения изделий из слоистых материалов следует учитывать особенности деформирования металлов с различными механическими показателями, что значительно повысит качество продукции и срок службы изделия. Используя приведенное условие текучести, уравнения равновесия и задаваясь характеристикой анизотропии тела в условиях плоской деформации можно определить распределение напряжений в очаге деформации с учетом формоизменения биметалла.

Список литературы: 1. *Рижинашвили Г. М.* Особенности деформирования, предельная прочность и металлоемкость судовых рамных корпусных конструкций: учебн. пособие / Г. М. Рижинашвили. – Л.: изд. ЛКИ, 1989. – 55 с. 2. *Бровман М. Я.* Некоторые вопросы обработки давлением биметалла / Я. М. Бровман, Ю. С. Додин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1963. – №1. – С. 3-5. 3. *Шевелев В. В.* Анизотропия листовых материалов и ее влияние на вытяжку / В. В. Шевелев, С. П. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1972. – 136 с.

Надійшла до редколегії 25.10.2012

УДК 621.7.044

Применение многослойных металлов и особенности их пластической деформации/ Р. Г. Пузырь // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. – № 66 (972). – С. 31-34. – Бібліогр.:3 назв.

Наведено переваги використання шаруватих матеріалів при виготовленні деталей і виробів

машинобудування і суднобудування. Деталі з таких матеріалів, піддаються різним видам навантажень, тому технологія виготовлення кожного конкретного виробу повинна враховувати умови подальшої експлуатації. Листовий біметал, що піддається плоскому деформуванню, як правило, володіє анізотропією, неоднорідністю механічних властивостей, яка обумовлена маркою матеріалу і технологічними режимами його отримання. Описується напружений стан заготовки у осередку деформації з урахуванням механічної неоднорідності.

Ключові слова: деформація, біметал, технологія, вигин, витягування.

The advantages of layered materials in the manufacture of parts and products of mechanical engineering and shipbuilding. Parts used in such materials are subjected to various types of loads, so the technology of manufacture of each specific product should consider the conditions subsequent operation of bimetal sheet, expose a flat deformation, as a rule, has anisotropy, heterogeneity of mechanical properties due to the name of the material and technological conditions of its reception. Describes the state of stress in the billet deformation zone with the mechanical heterogeneity.

Key words: deformation, bimetal, technology, bending, stretching.

УДК 621.777.4

В. О. ВАСИЛЕНКО, студент, НТУ «ХПІ»;

В. М. ГОРНОСТАЙ, ст. викл., НТУ «ХПІ», Київ;

В. І. КУЗЬМЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;

С. Ю. ПЛЕСНЕЦОВ, асп., НТУ «ХПІ»

ДЕЯКІ ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ З УШИРЕННЯМ, ЩО ВРАХОВУЮТЬ ВПЛИВ ТЕРТЯ НА КІНЦЕВЕ ФОРМОУТВОРЕННЯ ТА ВИНИКАЮЧЕ НАВАНТАЖЕННЯ

Стаття присвячена визначенню напрямків удосконалення процесів холодного видавлювання профілів з роздачею в напрямку зниження зусиль деформування, підвищення стійкості деформуючого інструменту та отримання виробів підвищеної надійності та довговічності. Увага акцентується на впливі тертя на кінцеве формоутворення та виникаюче навантаження.

Ключові слова: холодне пряме видавлювання з роздачею, силові режими, питомі зусилля, якість профілів, тертя, кінцеве формоутворення

Вступ. На кафедрі механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів НТУУ "ХПІ" розроблено спосіб прямого видавлювання з роздачею профілів різної конфігурації з круглих заготовок, діаметр яких менший за максимальний розмір перерізу профілю [1]. В.М.Горностай провів чисельні експерименти методом скінченних елементів процесів видавлювання з розширенням, встановив причини та величини зниження силових режимів деформування при видавлюванні з уширенням, виявив вплив основних конструктивних та технологічних факторів на напружено-деформований стан заготовки, зусилля деформування, розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті, кінцеву геометрію профілів, зміцнення zdeформованого металу та ступінь використання ресурсу пластичності. Проте, залишається питання впливу тертя на кінцеве формоутворення, силовий режим процесу та якість отриманих виробів [2]. Варіюючи такі параметри як: геометрія інструмента, розміри заготовки та ширину і форму калібруючого паска, що буде впливати на умови тертя, можна оптимізувати процес. Це знайшло і ще знайде своє відображення у властивостях технологічного процесу та якості деталей, що будуть отримані таким чином. У відповідності запитів сучасного машинобудування, приладобудування та інших галузей промисловості які потребують використання профілів різноманітної конфігурації із конструкційних і кольорових металів, як тих що мають підвищену надійність та довговічність при експлуатації. Профілі, які поставляються згідно існуючим стандартам металургійною

© В. О. ВАСИЛЕНКО, В. М. ГОРНОСТАЙ, В. І. КУЗЬМЕНКО, С. Ю. ПЛЕСНЕЦОВ, 2012

промисловістю, не завжди відповідають вимогам по точності і механічним властивостям. Одним із методів отримання профілів необхідної форми і точності із забезпеченими механічними властивостями здеформованого металу є пряме холодне видавлювання. Широке розповсюдження вказаного процесу стримується по причині високих питомих зусиль деформування, особливо при холодному формоутворенні профілів із важкодеформівних сталей і сплавів, що приводить до низької стійкості деформуючого інструменту.

Холодне видавлювання з уширенням, сутність якого полягає в можливості одночасної течії металу в матриці в осьовому та поперечному напрямках, дозволяє зменшити силові режими деформування завдяки наявності двох ступеней волі, як слідство, підвищити стійкість деформуючого інструменту та забезпечити підвищення якості металу в процесі пластичного деформування. Це дозволяє збільшити стійкість деформуючого інструменту, знизити енергоємність виробництва та собівартість профілів, підвищити їх надійність і довговічність.

Процеси холодного видавлювання широко розповсюджені в промисловості, тому всебічне дослідження цих процесів актуальне бо сприяє підвищенню технологічності виробництва та якості виробів. Розробка нових методів, а також методик визначення раціональних параметрів процесів прямого видавлювання з уширенням для отримання різноманітних профілів із конструкційних та важкодеформівних сталей та сплавів, що дозволили б виключити дорогу та тривалу експериментальну апробацію є актуальним і доцільним для сучасної науки та промисловості.

Аналіз останніх досліджень та літератури: Накопичений виробничий досвід традиційного прямого видавлювання суцільних стержнів викладений в джерелі [3]. Відмічено, що при видавлюванні мають місце високі питомі зусилля на деформуючому інструменті і низька його стійкість.

В роботі [4] запропонована методика визначення загального зусилля холодного видавлювання з роздачею прямокутних профілів. Визначено напружено-деформований стан заготовки, розподіл питомих напружень на робочому інструменті.

У роботі [5] описане застосування нового твердого-пластичного коду МСЕ для видавлювання профілів і показані результати моделювання течії металу. Процедура застосована для L-, T-, C-образного профілю. Досліджується вплив на плин металу таких величин як коефіцієнт тертя, перетин заготовки, довжина калібруючого паска матриці і положення отвору матриці відносно осі.

У роботі [6] наводяться рекомендації щодо розрахування зусилля видавлювання з роздачею, враховуючи площини де діють стискаючі напруження.

Проте, саме процес прямого видавлювання з уширенням є недостатньо вивченим і потребує особливої уваги.

Мета дослідження: 1) проведення чисельних експериментів методом скінченних елементів (МСЕ) процесів видавлювання з уширенням, встановити причини та величини зниження силових режимів деформування при видавлюванні з уширенням, виявити вплив основних конструктивних та технологічних факторів на напружено-деформований стан заготовки, зусилля деформування, розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті, кінцеву геометрію профілів, зміцнення здеформованого металу та ступінь використання ресурсу пластичності;

2) дослідження впливу тертя на калібруючому паску змінної форми і розмірів та на деформуючій поверхні матриці змінної форми, щодо кінцевого формоутворення, якості отриманих виробів та силового режиму процесу.

Матеріали досліджень: Відповідно до поставлених задач було здійснено за допомогою ліцензійної програми DEFORM-3D чисельне моделювання холодного

прямого видавлювання прямокутних профілів (розміром 54 на 22 мм) із сталі 40 за традиційною схемою та з уширенням. В першому випадку для отримання профілю вказаного розміру необхідна заготовка діаметром 60мм, в другому – 42 мм.

Після теоретичних дослідів було виявлено, що максимальне зусилля традиційного видавлювання 4650 кН, видавлювання з уширенням 1340 кН. Середні питомі зусилля на пуансоні відповідно мають значення 1640 МПа і 968 МПа. Зусилля видавлювання з уширенням менші в 3,4 рази, а питомі зусилля в 1,7 разів.

Розрахунком встановлено, що використання деформуючої поверхні матриці у вигляді призматичної поверхні замість конічної поверхні дозволяє додатково зменшити зусилля видавлювання на 24 %, що також обумовлене зміною гідростатичного тиску в осередку деформації.

Висновок: 1. Методом скінченних елементів встановлено, що холодне пряме видавлювання з уширенням прямокутних профілів із сталі, в порівнянні з традиційним прямим видавлюванням, забезпечує зниження: зусилля видавлювання в 2- 3,4 рази; питомих зусиль на пуансоні в 1,7 разів; питомих зусиль на матриці в 1,5 -1,6 разів в залежності від розміру прямокутного профілю. Причинами зниження зусиль є використання вихідних заготовок меншого в 1,4 рази діаметру та зниження по абсолютній величині гідростатичного тиску в осередку деформації за рахунок зміни схеми напруженого стану.

2. Встановлений вплив кута конуса матриці γ величиною 10, 20, 30, 40 і 50 градусів на кінцеву геометрію профілів, силові режими, питомі зусилля видавлювання профілів та основний показник формоутворення профілів - коефіцієнт роздачі $k = b_0 / D_3$, який характеризується відношенням максимального розміру отриманого профілю b_0 до діаметра вихідної заготовки D_3 . Малі кути матриці (10° і 20°) забезпечують максимальний коефіцієнт роздачі. Мінімальне зусилля видавлювання забезпечує кут $\gamma = 20^\circ$.

3. На коефіцієнт роздачі впливає величина діаметра вихідної заготовки. При збільшенні діаметра заготовки на 12 % коефіцієнт роздачі зростає на 6 % за рахунок більш інтенсивної течії металу в поперечному напрямку при деформації по конічній поверхні матриці. Однак зусилля видавлювання при цьому збільшується на 60 %.

4. Встановлено, що при прямому видавлюванні з уширенням профілів однакових розмірів з заготовок одного діаметра заміна деформуючої поверхні матриці з конічної на призматичну приводить до зменшення зусилля видавлювання на 24 %.

Для вказаного способу були отримані аналітичні залежності для визначення зусиль і питомих зусиль деформування, кінцевої геометричної форми, зміцнення та ступінь використання ресурсу пластичності здеформованого металу.

Але на даний час відсутні дослідження щодо впливу тертя на калібруючому паску змінної форми і розмірів, та на деформуючій поверхні матриці змінної форми, на кінцеве формоутворення, силовий режим процесу. Тому постають задачі пов'язані з оптимізацією режимів тертя, варіювання геометричними параметрами

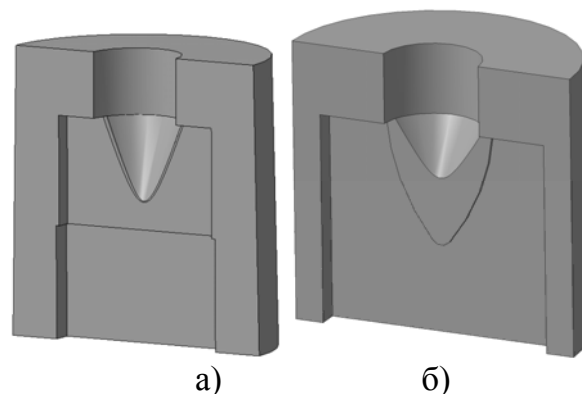


Рис. Матриці для видавлювання з роздачею:
а - запропонована колективом авторів [1],
б - один з варіантів подальшого розвитку досліджень

та шорсткістю поверхні. Результати дадуть змогу вже на стадії проектування технології прогнозувати та забезпечувати якість виробів. На рисунку зображено один з можливих подальших шляхів розвитку дослідження.

Список літератури: 1. Черный Ю. Ф. Способ выдавливания фасонных изделий. / Черный Ю. Ф., Калюжный В. Л., Фоменко В. А., Воронин Н. И. // А.с. СССР. № 1738409. –Опубл. в Бюл. № 21, 1992г. 2. Горностай В. М. Холодное выдавливание с раздачей профилей из конструктивных металлов: дис. канд. техн. наук. 05.03.05 - процессы та машини обробки тиском / В. М. Горностай. - К., 2011. - 213 л. + CD-ROM. // 3. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. / Ред. Совет: Е. И. Семенов (предс.) и др. –М.: Машиностроение, 1987- т.3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г. А. Навроцкого. 1987. -384 с. 4. Некоторые проблемы связанные с поперечным прессованием профилей. Unele considerath privind extruziunea laterala a profilurilor / Badea S., Ghiban N., Basue D., // Metalurgia-1997, 49, №9-10, 41-43. 5. Течение металла в выходном канале матрицы при прессовании L-, C- и T-образных профилей. Metal flow in bearing section during extrusion process of L-, C-and T sections. // Kiuch Manabu, Yanagimoto Jun, Mendoza Victor. // Steel Res. -1998, -69, №4-5, 175-180. 6. Калюжный В. Л. Розрахунково-експериментальний аналіз холодного пресування профілів з роздачею / Калюжный В. Л., Горностай В. М. // Вісник Житомирського державного технологічного університету. №30. – Житомир. 2004. - С.3-8.

Надійшла до редколегії 25.10.2012

УДК 621.777.4

Деякі підходи до вирішення задачі прямого видавливання з уширенням, що враховують вплив тертя на кінцеве формоутворення та виникаюче навантаження/ В. О. Василенко, В. М. Горностай, В. І. Кузьменко, С. Ю. Плєснецов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 34-37. – Бібліогр.: 6 назв.

Статья посвящена усовершенствованию процессов холодного выдавливания профилей из конструкционных металлов и сплавов с раздачей для снижения усилий деформирования, повышения стойкости деформирующего инструмента и получения изделий повышенной надежности и долговечности. Внимание акцентируется на влиянии трения на влияние трения на конечное формообразование и возникающие нагрузки

Ключевые слова: холодное прямое выдавливание с раздачей, силовые режимы, удельные усилия, качество профилей, трение, конечное формообразование.

This article devoted for improvement the efficiency of processes of cold extrusion with dispensing of profiles for decreasing straining force, enhancing the durability of forming tool and obtaining products with enhanced dependability and durability. Focuses on the effects of friction on the effect of friction on the final shaping and stresses arising.

Keywords: cold straight extrusion with dispensing, specific stress, mode of deformation, friction, profile quality, final shaping.

УДК 62 242

Г. А. ОКОЛОВИЧ, д-р. техн. наук, проф., ФГБОУ АлтГТУ
им. И.И. Ползунова, Барнаул;

В. И. ЛЕВКОВ, аспирант, ФГБОУ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул;

Е. В. ПЕТРОВА, студент, ФГБОУ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул

ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ

Разработана технология изготовления стальных поршневых колец методом холодной пластической деформации при волочении. Определены режимы термической обработки при рекристаллизационном отпуске, термофиксации и термостабилизации. Выполнен расчет степени пластической деформации при волочении. Промышленные испытания колец показали повышение эксплуатационной стойкости в 1,5..2,0 раза по сравнению с чугунными кольцами.

Ключевые слова: стальные поршневые кольца, волочение; деформация, термическая

© Г. А. ОКОЛОВИЧ, В. И. ЛЕВКОВ, Е. В. ПЕТРОВА, 2012

обработка, рекристаллизация, термостабилизация, термофиксация, полигонизация, дислокация.

Введение.

Производители двигателей внутреннего сгорания постоянно ведут поиск новых технологий в изготовлении поршневых колец. Одно из них – это поршневые кольца из стального проката с высокой механической прочностью вследствие оптимального профильного деформационного упрочнения при волочении.

Технологический цикл изготовления поршневых колец состоит из предварительной термической обработки заготовки; подготовки поверхности заготовки; одно- или многократного волочения; промежуточной термической обработки.

Одним из возможных путей улучшение деформируемости металла при обработке давлением является повышение ресурса пластичности предварительной термической обработкой заготовки. Этот путь наиболее эффективен, когда задачу улучшения пластичности нельзя или нерационально решать посредством изменения схемы деформирования. Нами установлено, что, независимо от состояния поставки следует выполнить рекристаллизационный отжиг на $10...20^{\circ}\text{C}$ ниже A_{c1} .

Компрессионные ПК изготавливают из пружинной стали 65Г после холодной пластической деформации ($\epsilon = 50...70\%$) при протягивании проволоки диаметром 5...6мм через профильные волочильные ролики. Твёрдость достигается HRC 35...40. Упрочнение при пластической деформации является результатом роста плотности дислокаций. В тоже время, значения свойств, характеризующих пластичность и вязкость стали, с ростом степени обжатия увеличиваются лишь до обжатия до 75%, а затем снижаются. Такое состояние наклепанного металла является предельным; при попытке продолжить деформирование металл разрушается. Это объясняется возникновением очагов разрушения в результате дробления цементитных пластинок, расположенных в сильно упрочненной ферритной матрице. [1]

Для залечивания деформационных дефектов и повышения пластичности стали перед навивкой профиля на оправку осуществляют рекристаллизационный отпуск при 500°C , 1ч. Навивка полученного профиля компрессионного кольца на оправку с натяжением сопровождается динамическим старением при последующем термостабилизационном отпуске 550°C , 1ч., и полигонизацией, т.е. упорядочением и стабилизацией структуры при заданной твёрдости HRC 28-30.

Исследования показали, что при динамическом старении отмечаются признаки полигонизации, изменяется морфология и более упорядочено распложены частицы избыточной фазы. При этом дислокации преобразуются в более устойчивые системы в поле упругих напряжений.

В результате динамического старения резко повышается значение предела упругости, заметно увеличивается предел текучести и несколько повышается предел прочности, достигаются значительно более высокие значения K_{σ} , усталостной прочности и релаксационной стойкости.

Так, после динамического старения предел упругости стали 65Г достигает 2100 МПа, что на 20...30% выше, чем после закалки и отпуска. [2]

Характеристики пластичности – относительное удлинение и относительное сужение – при динамическом старении почти не изменяются. Существенно также, что повышение указанных свойств прочности наблюдаются в широком интервале температур динамического старения.

Главным достоинством динамического старения при отпуске под нагрузкой является то, что структурное и напряженное состояние стали оказывается таким, каким оно будет в деталях и конструкциях в условиях их эксплуатации. Это определяет большую стабильность свойств и повышение надежности.

Для получения сложного профиля маслоъемного кольца необходимо многократное волочение (рис.1).

Количество переходов волочения обусловлено получением изделий с заданными прочностными характеристиками и высокими требованиями к поверхности, так как увеличение числа переходов способствует удалению мелких поверхностных дефектов и снижение шероховатости поверхности.

С целью получения повышенной производительности и стойкости инструмента величину единичного обжатия, вследствие упрочнения металла на каждом переходе, постепенно уменьшают. Однако, уменьшение обжатия должно быть строго согласованно с кривой упрочнения металла таким образом, чтобы сопротивление деформации в каждом переходе были равными или близкими по величине. При этом единичное обжатие не должно превышать величину 35...40%, а суммарное – 95% (рис. 2).

С нарастанием степени общей деформации (ϵ_{Σ}) в процессе волочения, вследствие упрочнения металла, вытяжка за проход уменьшается. Чем меньше эти обжатия, тем медленнее нарастает сопротивление деформации, тем выше степень суммарной деформации и тем выше уровень механических свойств. Падение единичной степени деформации (ϵ_i) должно компенсировать рост кривой упрочнения (σ_s), что обеспечивает оптимизацию силовых условий процесса волочения.

Выполненные математические расчёты и построения площади переходов на ЭВМ показали возможность получения сложного профиля стальных маслоёмных ПК из стали 20Х13 протягиванием проволоки $\varnothing 5 - 6$ мм через профильные волочильные ролики за 6 переходов с обжатиями: 21...23 %, 20-21 %, 18...20 %, 17...19 %, 16...18 %, 9...11 %.

Поскольку в исходном состоянии в структуре стали присутствуют избыточные карбиды, которые существенно препятствуют пластической деформации, перед волочением необходимо выполнить рекристаллизационный отжиг при температуре 800...820 °С, 1ч. ($A_{c1} - 10... 20$ °С). После рекристаллизационного отжига карбиды растворяются почти полностью, а твёрдость понижается с HV_{100} 228 до HV_{100} 190

Следует отметить, что после деформации твердость на поверхности и в центре распределяется неравномерно. Так поле первого перехода твердость на поверхности составляла HV_{100} 334, а в центре HV_{100} 255 (рис.3). Сталь приобретает волокнистую структуру - текстуру деформации (рис. 4).

При увеличении степени деформации, текстура стали изменяется от волокнистой до веретенообразной а затем до нитевидной. Поверхностные слои имеют большую склонность к удлинению, чем внутренние. Возникают сжимающие напряжения, которые приводят к неравномерности деформации и локализуются в некоторых областях.

Путем наклепа твёрдость и временное сопротивление удастся повысить в 1,5...3 раза, а предел текучести в 3...7 раз. Такое состояние наклепанного металла является

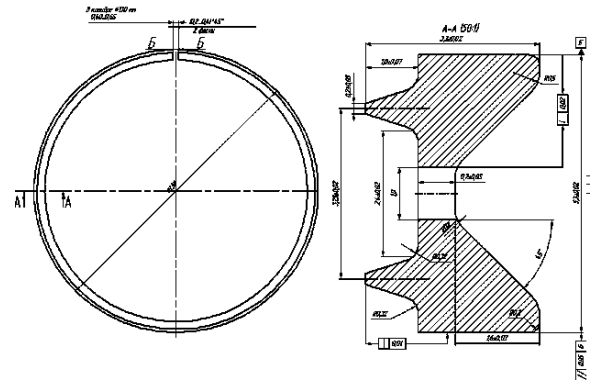


Рис. 1 – Маслоъемное кольцо

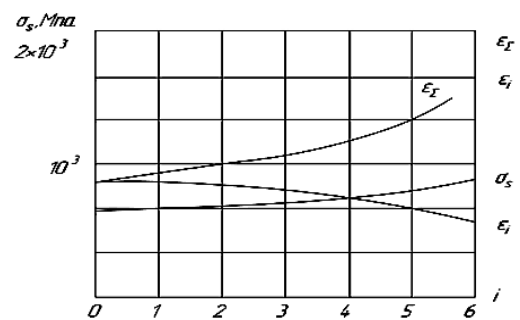


Рис. 2 – Графики изменения σ_s , ϵ_{Σ} , ϵ_i по переходам

пределным; при попытке продолжить деформирование металл разрушается.

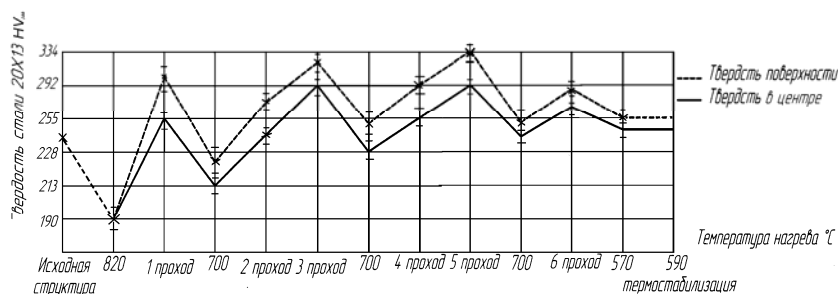


Рис. 3 – Изменение твердости стали 20Х13 в зависимости от степени пластической деформации (ε) и температуры отпуска

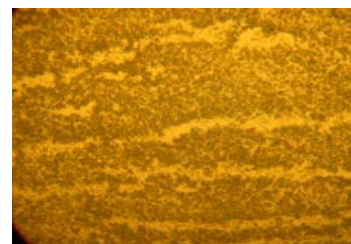


Рис. 4 – Структура стали 20Х13 после первого прохода HV₁₀₀ 255-292 x 500

Поэтому после первого, третьего и пятого деформационного упрочнения осуществляют рекристаллизационный отпуск профиля при температуре 690...710° С в течении 1 часа, что способствует снижению твердости от HV₁₀₀ 255...334 после первого перехода до HRC HV₁₀₀ 213...228 и равномерной деформации при волочении.

При больших обжатиях продольное сечение имеет слабо выраженную волокнистую структуру, а структура поперечного сечения совсем не разрешается в оптическом микроскопе

После волочения удлинение зерна остаются относительно равноосными, очень сложной формы, а текстура включает ось волокна. Ориентированные, в результате деформации кристаллы, имеют общее направление, совпадающее с направлением оси волокон.

При этом после пятого деформационного упрочнения выполняют пробивку перфорированных пазов и калибровку с обжатием 9...11 %, навивку на оправку и термофиксацию при температуре 560...580° С в течении 1 часа.

На оправке профиль разрезают на отдельные кольца, которые устанавливают в гильзу и в ней подвергают термостабилизации при температуре 590° С в течении часа для протекания процессов полигонизации т.к. окончательные свойства колец определяются условиями отпуска, в процессе которого реализуются потенциальные возможности для повышения сопротивления малым пластическим деформациям и всего комплекса прочностных свойств (твердость ПК составляет HRC 20...28) (рис. 5).



Рис.5 - Структура стали 20Х13 после ермостабилизации. x 500

Выводы.

1. Установлено, что не зависимо от структурного состояния поставляемой стали для улучшения пластичности необходимо выполнить отжиг I рода ниже A_{c1} на 10...20 °С.
2. Определены температурные интервалы рекристаллизации, термостабилизации и термофиксации ПК из сталей 65Г и 20Х13.
3. Оптимизация силовых условий процесса волочения обеспечивает расчетный график кривой упрочнения по переходам

Список литературы: 1. Околович А. Г. Исследование технологии изготовления стальных поршневых колец. Ползуновский вестник / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул, №1-2, 2009, с.256-259. 2. Пат. 2407621 РФ, МПК⁷ B23P C1B23P 15/06, B23F 37/00, C21D8/00. Способ изготовления стальных компрессионных и маслосъемных поршневых колец. Околович А. Г., Околович А. Г., Сизова А. Е. Заявитель и патентообладатель АлтГТУ им. И. И. Ползунова - №

УДК 62 242

Пластическая деформация пружинных сталей при волочении/ Г. А. Околович, В. И. Левков, Е. В. Петрова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 37-41. – Бібліогр.:2 назв.

Розроблена технологія виготовлення сталевих поршневих кілець методом холодної пластичної деформації при волочінні. Визначені режими термічної обробки при рекристалізаційному відпустці, термофіксації і термостабілізації. Виконано розрахунок ступеня пластичної деформації при волочінні. Промислові випробування кілець показали підвищення експлуатаційної стійкості в 1,5..2,0 рази порівняно з чавунними кільцями.

Ключові слова: сталеві поршневі кільця, волочіння; деформація, термічна обробка, рекристалізація, термостабілізація, термофіксація, полігонізація, дислокація.

The manufacturing techniques of steel piston rings are developed by a method of a cold plastic deformation at drawing. Modes of thermal processing are defined at recrystallisation holiday, thermofixing and thermostabilization. Calculation of degree of plastic deformation at drawing is executed. Industrial tests of rings have shown increase of operational firmness in 1,5. 2,0 times in comparison with pig-iron rings.

Keywords: steel piston rings, drawing, deformation, thermal processing, recrystallisation, thermostabilization, thermofixing, polygonizaciya, disposition.

УДК 621.646.42

Г. А. КРУТИКОВ, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ";
М. Г. СТРИЖАК, аспірант, НТУ "ХПИ"

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В статье получена универсальная математическая модель, отражающая совместное функционирование пневмопривода и редукционного клапана, проведены расчёты для приводов, где установлен редукционный клапан с пружинным и с электрическим управлением.

Ключевые слова: редукционный клапан, пропорциональное управление, машина точечной сварки, математическая модель

Введение.

Установка редукционного клапана (РК) в прижимных пневмоприводах, несмотря на отрицательное влияние на быстродействие пневмопривода, необходима для изменения в широких пределах усилия прижима привода, а также ввиду достаточно высоких требований к стабильности усилия прижима.

Цель исследования, постановка проблемы. Использование РК с электрическим управлением вместо традиционно используемых РК с пружинным управлением позволяет повысить быстродействие клапана. Улучшение пропускной способности существующих РК с пружинным управлением за счет жесткости пружины, условного прохода клапана, увеличения эффективной площади мембраны приводит к ухудшению устойчивости РК и, при работе в прижимных пневмоприводах это, в свою очередь, приводит к ярко выраженным колебательным процессам подвижных частей РК, снижающим долговечность и надежность работы мембранно-клапанного узла. Эффект от замены РК с пружинным управлением на РК с электроуправлением будет различным при разных условиях функционирования РК. Экспериментальное определение условий наиболее эффективного использования РК с электроуправлением является весьма трудоемким из-за большого числа параметров привода, определяющих эти условия.

Решение этой задачи возможно путем аналитического исследования

© Г. А. КРУТИКОВ, М. Г. СТРИЖАК, 2012

математической модели пневмопривода с РК. Причем для сокращения числа параметров системы уравнений необходим переход к безразмерной форме, позволяющей охватить при расчете целую группу однотипных по динамическим свойствам приводов.

При переходе к безразмерной форме целесообразно использовать методику нормирования нелинейных дифференциальных уравнений, изложенную в работах [1, 2], согласно которой число критериев подобия становится минимальным, а форма записи уравнений наиболее простой.

Материалы исследований. Расчетная схема пневмопривода, где установлен РК с электроуправлением, приведена на рис. 1.

Математическая модель в безразмерном виде, отражающая совместное функционирование пневмопривода и РК, представляет собой систему следующих нелинейных дифференциальных уравнений (1) [1].

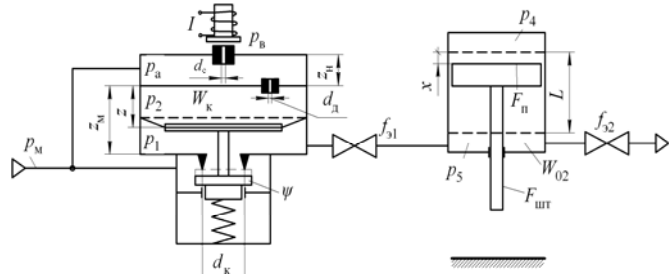


Рис. 1 – Расчётная схема пневматического привода с РК

Уравнения (1) – (6) описывают изменение безразмерного давления $\dot{\sigma}_1$ в проточной полости на выходе РК, безразмерной температуры $\dot{\theta}_1$ в той же полости безразмерного давления $\dot{\sigma}_2$ в глухой надмембранной камере и $\dot{\sigma}_a$ в проточной надмембранной камере, безразмерной высоты $\dot{\gamma}_1$ проточной надмембранной камеры, а также безразмерной скорости $\dot{S}_1$ клапанно-мембранного блока. Уравнения (7) – (10) описывают в безразмерной форме работу двустороннего пневмопривода.

1. $\frac{d\sigma_1}{d\tau} = \frac{k}{\rho_1} \left[(1-\gamma_1)\sigma_m\varphi(\sigma_m, \sigma_1) - \sigma_1\eta_1q_1\varphi(\sigma_1, \sigma_e) + \eta_2\sqrt{\theta_1}\sigma_1\frac{d\gamma_1}{d\tau} \right];$
2. $\frac{d\theta_1}{d\tau} = \frac{\theta_1}{\sigma_1}\frac{d\sigma_1}{d\tau} - \frac{\theta_1^2}{\sigma_1\rho_1} \left[\sigma_1(1-\gamma_1)\varphi(\sigma_m, \sigma_1) - \sigma_1\eta_1q_2\varphi(\sigma_1, \sigma_m) - \eta_2\frac{\sigma_1}{\sqrt{\theta_1}}\varphi(\sigma_1, \sigma_e) \right];$
3. $\frac{d\sigma_2}{d\tau} = \frac{k}{\gamma_1} \left[\text{sign}(\sigma_a - \sigma_m)\sigma_m - \text{sign}(\sigma_a - \sigma_2)\eta_1q_2\varphi(\sigma_a, \sigma_2) - \sigma_2\frac{d\gamma_1}{d\tau} \right];$
4. $\frac{d\sigma_a}{d\tau} = \frac{k}{\delta + 1 - \gamma_1} \left[\sigma_m\varphi(\sigma_m, \sigma_a) - \sigma_a\sqrt{\theta_a}\eta_3\varphi(\sigma_a, \sigma_e) - \text{sign}(\sigma_a - \sigma_e)\sigma_a\eta_2q_1\varphi(\sigma_a, \sigma_e) \right];$
5. $\frac{d\gamma_1}{d\tau} = S_1;$
6. $\frac{dS_1}{d\tau} = \frac{1}{\beta} \left[\Pi_p(\sigma_m - \sigma_1) + \sigma_2 - \sigma_a + \chi_p \right] - 2\xi\omega S_1 + \omega^2(1 - \gamma_1);$
7. $\frac{d\sigma_4}{d\tau} = \frac{k}{1 + \gamma_{20} - \gamma_2} \left[\sigma_4\frac{d\gamma_2}{d\tau} - \frac{\sigma_5^{1.14}}{\Pi}\Omega\varphi(\sigma_4, \sigma_5) \right];$
8. $\frac{d\sigma_5}{d\tau} = \frac{k}{\gamma_{20} + \gamma_2} \left[\sqrt{\theta_1}\sigma_1\varphi(\sigma_1, \sigma_5) - \sigma_5\frac{d\gamma_2}{d\tau} \right];$
9. $\frac{d\gamma_2}{d\tau} = S_2;$
10. $\frac{dS_2}{d\tau} = \frac{1}{\beta_1} [\sigma_4 - \Pi\sigma_5 + \chi].$

В уравнениях (1 – 10) $\varphi(A, B)$ – расходная функция ($A = \sigma_a, \sigma_1, \dots$, $B = \sigma_1, \sigma_2, \dots$):

$$\varphi(A, B) = \sqrt{\frac{2[(B/A)^{1,43} - (B/A)^{1,73}]}{k-1}}, \text{ если } A \geq B \text{ и } \frac{B}{A} \geq 0,528;$$

$$\varphi(A, B) = \sqrt{\frac{2[(A/B)^{1,43} - (A/B)^{1,73}]}{k-1}}, \text{ если } A < B \text{ и } \frac{A}{B} \geq 0,528;$$

$$\varphi(A, B) = 0,258, \text{ если } \frac{B}{A} \text{ и } \frac{A}{B} < 0,528.$$

Для моделирования на ЭВМ существенно нелинейных характеристик глухих камер с квадратичными дросселями вводятся переменные q_1 , q'_1 и q_2 :

$$q_1 = \sigma_1 \sqrt{\theta_1}, \text{ если } \sigma_1 \geq \sigma_2;$$

$$q_1 = (\sigma_2^2 \sigma_{2м}^{-1})^{\frac{k-1}{2k}} \sqrt{\theta_{2м}}, \text{ если } \sigma_1 < \sigma_2;$$

$$q'_1 = \sigma_э \sqrt{\theta_э}, \text{ если } \sigma_a < \sigma_э (\theta_э = 1);$$

$$q'_1 = (\sigma_a^2 \sigma_{ам}^{-1})^{\frac{k-1}{2k}} \sqrt{\theta_{ам}}, \text{ если } \sigma_a < \sigma_э;$$

$$q_2 = \sigma_1 \sqrt{\theta_1}, \text{ если } \sigma_1 \geq \sigma_2;$$

$$q_2 = (\sigma_2)^{\frac{k-1}{2k}} \sigma_{2м} (\theta_{2м})^{-0,5}, \text{ если } \sigma_1 < \sigma_2,$$

где $\sigma_{2м}$, $\sigma_{ам}$, $\theta_{2м}$ и $\theta_{ам}$ – безразмерное давление и температура соответственно в нижней и верхней надмембранных камерах в момент изменения знака расхода через дросель.

При истечении воздуха из надмембранной и подмембранной камер принят адиабатический закон.

Базовая единица времени для РК равна $t_6 = \frac{W_0}{\mu_k \cdot \pi \cdot d_k \cdot z_n \cdot a_0}$, где $W_0 = F \cdot z_э$; F – эффективная площадь мембраны; z_n – базовая единица перемещения (высота верхней надмембранной камеры); d_k – диаметр седла клапана; a_0 – скорость звука при нормальных условиях; $\gamma_1 = z / z_э$; $\delta = z_n / z$; L – ход поршня; $\eta_1 = \frac{f_k^3}{\mu_k \pi d_k z_k}$; $\eta_2 = \frac{\mu_0 f_0^3}{\mu_k \pi d_k z_k}$; $\eta_3 = \frac{\mu f^3}{\mu_k \pi d_k z_k}$ – относительные эффективные площади клапанной щели, дросселей в

глухую и проточную надмембранные камеры; $\beta = \frac{m \cdot x_э}{t_6^2 \cdot F \cdot p_{16}}$ – критерий инерционности (безразмерная масса), численно равный отношению силы инерции при базовом ускорении ($x_э / t_6^2$) к максимальной силе, которую развивает поршень; $\beta_1 = \frac{m_n \cdot L}{t_6^2 \cdot F_n \cdot p_{16}}$ – критерий инерционности пневмоцилиндра (безразмерная масса поршня).

ω и ξ – собственная частота и коэффициент демпфирования мембранно-клапанного блока; $\rho_1 = W_0 / F \cdot z_n$ – относительный рабочий объем РК; в параметр χ , кроме усилия предварительного поджатия подклапанной пружины входит сила сухого трения, которая при знакопеременной движущей силе моделировалась в виде составного логического оператора, учитывающего возможное прихватывание клапана трением.

В работе [1] используется критерий динамического подобия $N = \frac{f_1^3 \cdot \sqrt{2 \cdot k / (k-1)}}{F_1} \cdot \sqrt{\frac{m \cdot R \cdot T_m}{p_m \cdot F_1 \cdot L}}$, который не имеет такого ясного физического объяснения,

как параметр β_1 , причем параметр β_1 связан с N соотношением $\beta_1 = \frac{N^2(k-1)}{2}$.

Безразмерными параметрами отдельно взятого привода кроме параметра β_1 являются:

$$\Omega = f_2^3 / f_1^3; \quad \chi = (\pm N_b - N_t - F_{\Pi} p_a) / p_{10} F_{\Pi}; \quad \Pi = (F_{\Pi} - F_{\Pi T}) / F_{\Pi}; \quad \gamma_{01} = \frac{z_6}{z_6},$$

где N_b и N_t – сила тяжести подвижных частей привода (при вертикальном исполнении) и нагрузка на шток; $F_{\Pi T}$ – площадь штока.

При моделировании работы привода, где установлен РК с пружинным управлением, давление в надмембранной камере РК считалось постоянным и равным атмосферному. Условие равновесия клапанно-мембранного узла пружинного РК в безразмерном виде следующее:

$$\frac{dS_1}{d\tau} = \frac{1}{\beta_{\Pi}} [\sigma_2 + \Pi_p (1 - \sigma_1) - 1 - \chi_p^1] - 2\xi_1 \omega_1 S_1 + \omega_1^2 (1 - \gamma_1),$$

где $\chi_p^1 = F_t / (p_{10} F)$; $\xi_1 = \frac{h}{2\sqrt{m}(c_1 + c_2)}$; $\omega_1 = \sqrt{\frac{c_1 + c_2}{m} t_{01}}$; c_2 – жесткость пружины управления.

Результаты исследований. По приведенным моделям был выполнен расчет на ЭВМ. На рис. 2 в качестве иллюстрации решения системы уравнений (1) приведены результаты расчетов на ЭВМ в размерном виде для привода, где установлен РК с пружинной (штриховые) и электрической (сплошные линии) нагрузками.

Сравнение численных решений для приводов с обоими типами РК показало.

1. Скорость нарастания давления в рабочей полости привода в подготовительном периоде значительно выше для случая, где установлен РК с электроуправлением. Это приводит к сокращению подготовительного периода.

2. Во время движения поршня давление за РК с пружинным управлением падает значительно ниже, чем давление за РК с электроуправлением. При этом в ряде случаев существенно возрастает скорость движения поршня при замене РК с пружинным управлением на РК с электроуправлением.

3. При замене пружинного управления электрическим намного сокращается и время заключительного периода привода (время нарастания усилия на поршне).

4. Показано, что основные критерии подобия двухстороннего пневмопривода β_1 , Ω , χ не могут полностью характеризовать условия функционирования РК при оценке эффекта от замены РК с пружинным управлением РК с пропорциональным электроуправлением, необходимо задаваться также параметрами нагрузки РК (σ_m и σ_b).

Результаты расчетов на ЭВМ представлялись в виде зависимости транспортного и полного времени срабатывания привода от безразмерной массы β_1 . Значение Ω

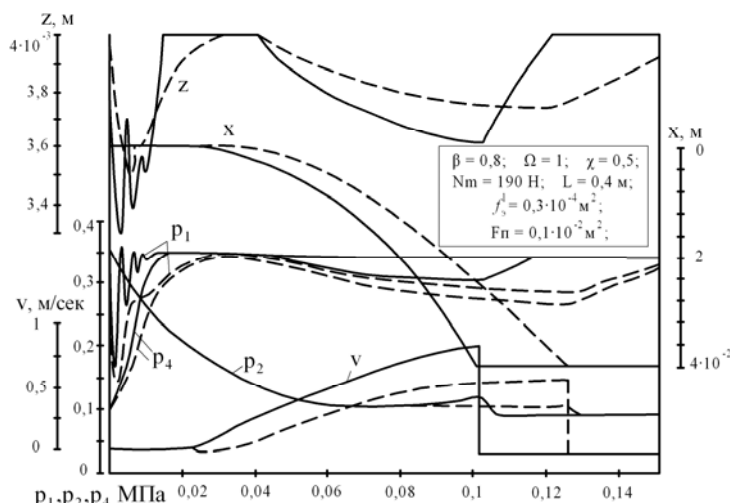


Рис. 2 – Результаты численного решения для пневмопривода машины точечной сварки, где установлены РК с пружинным (---) и электрическим (—) управлением при $L = 0,4$ м; $\beta_1 = 0,8$; $\Omega = 1$

изменялось в пределах от 0,3 до 2; параметр β_1 менялся в пределах от 0,1 до 5; параметр χ – в пределах от 0 до 0,3; величина σ_m – от 3,5 до 1,4. Пружинный РК и РК с электроуправлением подобны по конструктивному параметру β_1 , а также по параметрам Π и η_1 ($\beta_{II}=0,035$; $\eta_1=0,06$). Остальные параметры системы имели следующие значения: $\xi_1=0,75$; $\omega_1=0,2$ (пружинный вариант); $\xi=5$; $\omega=0,03$ (вариант с электроуправлением); $\delta=0,5$; $\eta_3=0,004$; $\gamma_{10}=0,4$; $\gamma_{20}=0,6$; $\Pi=0,92$.

Вариация параметрами привода в указанных пределах охватывает достаточно обширную область условий функционирования РК в системах промышленных пневмоприводов.

На рис. 3 в качестве иллюстрации приведены некоторые выборочные результаты численных решений на ЭВМ системы уравнений (1 – 10). Для удобства сравнения полученных результатов с результатами, приведенными в работе [1], в графиках на рис. 3 значение τ приведено к базовой единице времени τ_m [1], связь которой с единицей времени, используемой в данной работе, имеет вид: $\tau_m = t_o \sqrt{(k-1)/2}$.

Анализ этих графиков позволяет установить следующее:

1. Максимальный выигрыш в транспортном времени срабатывания при замене пружинного РК клапаном с электроуправлением достигается при $\Omega=0,3$ и $\eta_2=0,25$.
2. При уменьшении η_2 разница в транспортном и в полном времени срабатывания уменьшается.

3. При увеличении параметра Ω разница в транспортном времени срабатывания уменьшается, а в полном времени срабатывания возрастает.

4. Если выигрыш в полном или транспортном времени срабатывания при установке РК с пропорциональным электроуправлением отнести к транспортному или полному времени срабатывания, то наибольший эффект от установки РК с электроуправлением наблюдается при малых значениях β_1 .

5. При увеличении давления настройки РК (то есть при уменьшении параметров σ_m и σ_b) эффект от установки РК с электроуправлением возрастает.

Последнее иллюстрируется двумя последними графиками на рис. 3.

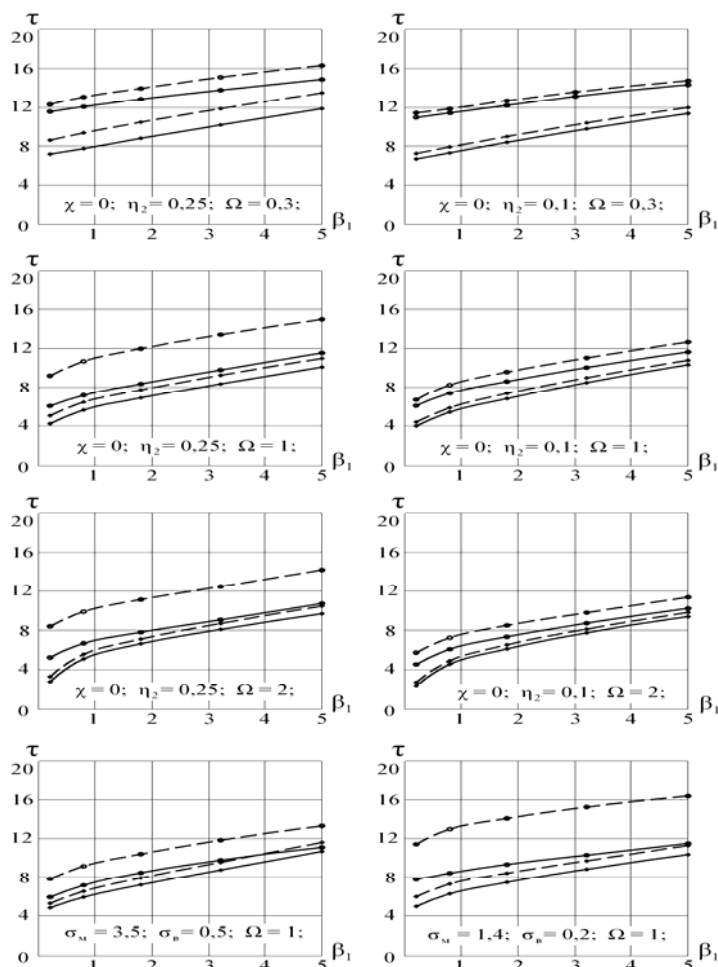


Рис. 3 – Графики зависимости безразмерного времени срабатывания пневмопривода, где установлен РК с пружинным и электрическим управлением, от конструктивных параметров

Выводы. РК с электроуправлением целесообразно использовать в прижимных пневмоприводах, где быстродействие определяется временем срабатывания по усилию. Эффект от установки РК с электроуправлением будет более высок при малых значениях β_1 , больших значениях η_2 и значениях $\Omega = 0,75 \div 2$. Например, при установке РК с пропорциональным электроуправлением разработанного ДСКТБ «Пневматика» (Симферополь) вместо РК с пружинным управлением БВ57-34 в системе пневмопривода машины точечной сварки МГ2518, у которого параметры β_1 , η_2 , Ω удовлетворяют изложенным выше условиям, полное время срабатывания привода при сдвигении электродов уменьшалось в 1,5 – 2 раза. Это ведет к повышению производительности сварочного автомата на 20–25%.

Список литературы: 1. Герц Е. В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие. / Е. В. Герц, Г. В. Крейнин. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с. 2. Герц Е. В. формализация составления уравнений динамики сложных пневматических систем / Е. В. Герц, М. А. Полякова // В кн.: Пневматические приводы и системы управления. М.: Наука, 1971. – С. 26-35. 3. Кисельников В. Б. Пневматические приводы и аппаратура электросварочного оборудования / В. Б. Кисельников. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1978. – 200 с.

Надійшла до редколегії 12.11.2012

УДК 621.05

Определение области рационального использования электропневматического преобразователя/ Г. А. Крутиков, М. Г. Стрижак // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 66 (972). – С. 41-46. – Бібліогр.:3 назв.

У статті отримана універсальна математична модель, що відображає спільне функціонування пневмопривода й редукційного клапана, проведено розрахунки для приводів, де встановлений редукційний клапан з пружинним і з електричним керуванням.

Ключові слова: редукційний клапан, пропорційне керування, машина точкового зварювання, математична модель.

In this article, a universal mathematical model reflecting the joint functioning pneumatic pressure and relief valve, the calculations for the drive where you installed relief valve with spring and electric control.

Keywords: reducing valve, proportional management, car of spot welding, mathematical model.

УДК 681.527.3:623.438

О. Є. СКВОРЧЕВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХП»

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМИКАННЯ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ЛІНІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ІЗ РЕЖИМУ ГІДРОСТОПОРІННЯ В РЕЖИМ РЕГУЛЮВАННЯ

Основною метою роботи було теоретичне обґрунтування можливості реалізації режимів гідростопоріння та регулювання мехатронного модуля, побудованого із використанням запатентованих електрогідравлічних перетворювачів. Для досягнення поставленої мети було проведено численне інтегрування нелінійної системи диференціальних рівнянь, яка є математичною моделлю процесу перемикання модуля з одного режиму в інший. Характеристики перехідного процесу мають достатньо високу якість.

Ключові слова: мехатронний модуль, електрогідравлічний перетворювач, жорстка нелінійна система диференціальних рівнянь, перехідний процес.

Вступ. Постановка проблеми дослідження в загальному вигляді. В сучасних мобільних машинах потрібний закон руху робочих органів (начіпного знаряддя трактора, ковша екскаватора, бурильної голівки бурової установки, стріли крану тощо) досягається завдяки раціональній комбінації кінематичних елементів та електрогідравлічних

© О. Є. СКВОРЧЕВСЬКИЙ, 2012

приводів із електронним мікропроцесорним керуванням. Часто, в таких системах гідродвигун має забезпечувати не тільки переміщення кінематичних елементів по заданому закону, але і їх фіксацію у відсутності сигналу керування. Фіксація положення вихідної ланки гідродвигуна досягається, як правило, шляхом включення в гідравлічну схему електрично або гідравлічно керованих зворотних клапанів, які отримали назву гідравлічних замків. Вони щільно запирають рідину у порожнинах гідродвигуна, що не дає можливості його вихідній ланці, із приєднаним до неї, через кінематичні елементи, робочим органом машини, вільно рухатись у відсутності сигналу керування. Гідрозамки є простими і дешевими апаратами, вони давно відомі та випускаються серійно як вітчизняними так і закордонними виробниками. Однак введення до складу електрогідравлічного приводу додаткових гідроапаратів вимагає установки додаткових трубопроводів, збільшення кількості монтажних з'єднань, що зрештою призводить до збільшення масо-габаритних показників приводу та зменшення його надійності.

Аналіз останніх досягнень та публікацій в напрямку досліджень. Проблема забезпечення гідростопоріння кінематичних елементів, що приводять до руху робочі органи мобільних машин із одночасним спрощенням гідравлічної схеми спонукала автора до створення електрогідравлічного перетворювача на основі елементів сопло-заслінка та встановленого послідовно ньому зворотного клапану. Причому обидва елементи приводяться до руху одним і тим же пропорційним електромагнітом [1]. Дослідження статичних робочих процесів нормально-закритого електрогідравлічного перетворювача [1], результати якого представлені в [2-4], показало, що закон регулювання тиску носить практично лінійний характер.

В роботі [5] на основі імітаційного моделювання зроблена спроба обґрунтування можливості сумісної роботи послідовно встановлених елементу сопло-заслінка та зворотного клапану. Однак робота [5] обмежена лише дослідженням гідравлічних процесів, що протікають при роботі перетворювача [1]. В той же час механічні та електричні процеси, що протікають під час роботи пропорційної гідроапаратури, мають суттєвий вплив на її статичні та динамічні характеристики. Робота перетворювача у складі систем приводів також буде накладати свій відбиток на його характеристики. Саме тому перспективним вбачається подальше математичне моделювання робочих процесів нормально-закритих електрогідравлічних перетворювачів [1] при їх роботі у складі приводів, які мають інтегровану конструктивну компоновку і тому можуть розглядатися, як мехатронні модулі.

В статті [6] представлені результати структурного синтезу інваріантного до ε електрогідравлічного слідкуючого приводу, створеного із використанням електрогідравлічних перетворювачів [1]. Представлено електрогідравлічну схему приводу та опис його роботи при різних режимах. Хоча в роботі [6] наведено лише структурну схему, передбачається, що гідроциліндр, електрогідравлічні перетворювачі, датчики зворотного зв'язку, електронний блок будуть інтегровані у вигляді мехатронного модуля.

В роботі [7] запропонована розрахункова схема та математична модель мехатронного модуля, побудованого із використанням нормально-закритих електрогідравлічних перетворювачів [1]. Математична модель представлена в роботі [7] являє собою нелінійну систему диференціальних рівнянь придатну до безпосереднього вирішення численими методами.

Цілі імітаційного дослідження були наступними:

1. Вибір методу численого інтегрування, початкових умов, значень конструктивних та функціональних параметрів моделювання;

2. Отримання характеристик перехідного процесу для обраних значень конструктивних та функціональних параметрів мехатронного модуля;

3. Налаштування та уточнення математичної моделі [7].

Основні результати дослідження. Через низьку стисливість рідини перехідні процеси в гідравлічних системах схильні до різких коливань значень тисків. Системи диференціальних рівнянь, що описують такі процеси, відносяться до так званих «жорстких». Тому для численного інтегрування системи диференціальних рівнянь [7] застосуємо метод radau-5.

Діапазон незалежної змінної – часу приймався від 0 до 0,07 с. Початкові значення змінних були наступними: $I = 0$, $V_3 = 0$, $x = 0$, $p_2 = p_{НОМ}$, $p_{C2} = 0$, $V_{II} = 0$, $y = 0$, $p_I = p_{НОМ}$. Значення варійованих параметрів наступні: $L = 0,08 \text{ Гн}$, $R = 16 \text{ Ом}$, $m_{3,ПР} = 0,15 \text{ кг}$,

$k_I = 96,67 \frac{\text{Н}}{\text{А}}$, $c = 2,1 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$, $\nu = 0,2 \text{ См}$, $\rho = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $d_C = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $E = 1700 \cdot 10^6 \text{ Па}$,

$d_{II} = 0,08 \text{ м}$, $d_{III} = 0,036 \text{ м}$, $\mu_{ДР} = 0,65$, $d_{ДР} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $p_{НОМ} = 16 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $\rho = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$,

$\mu_{C-3} = 0,62$, $\delta = 0,5 \cdot d_C$, $p_{3Л} = 0$, $m_{П,ПР} = 20 \text{ кг}$, $F = 2 \cdot 10^4 \text{ Н}$, $l = 0,2 \text{ м}$,

$d_T = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\mu_{КЛ} = 0,7$, $l_C = 0,01 \text{ м}$, $d_E = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\beta = 1,85 \text{ рад}$. Вхідним ступінчастим впливом є напруга $U = 24 \text{ В}$. Сутність усіх наведених вище позначень розшифрована в попередній роботі [7].

На рис. 1 наведені графіки змін швидкості V_3 (пунктирна лінія) та положення x (суцільна лінія) послідовно встановлених та жорстко з'єднаних заслінки із запірним елементом зворотного клапану, що приводяться до руху якорем електромагніту. Плавна зміна швидкості V_3 забезпечує аперіодичний закон виходу заслінки в положення регулювання тиску. Відсутність коливань швидкості V_3 та положення x під час протікання перехідного процесу забезпечується наявністю змішаного тертя в парі «поршень гідростатичного розвантаження – корпус» (див. опис [1]).

Зміна тисків (рис. 2) у штоковій порожнині гідроциліндру p_2 (суцільна лінія) та каналі сопла p_{C2} (пунктирна лінія) має прийнятні характеристики. Різде падіння тиску p_2 в штоковій порожнині на початку перехідного процесу можна пояснити значною витратою рідини через електрогідравлічний перетворювач. Така витрата пояснюється тим, що на цьому етапі

зворотний клапан уже відкритий, але заслінка іще не підійшла достатньо близько до торця сопла. Процес падіння тиску p_2 триває близько 20 мс після чого він починає зростати по аперіодичному закону, на який накладаються незначні коливання. Тиск p_{C2} в каналі сопла зростає поступово. Приблизно через 30 мс він стає практично рівним p_2 , після чого тиск а каналі сопла та штоковій порожнині гідроциліндру змінюються

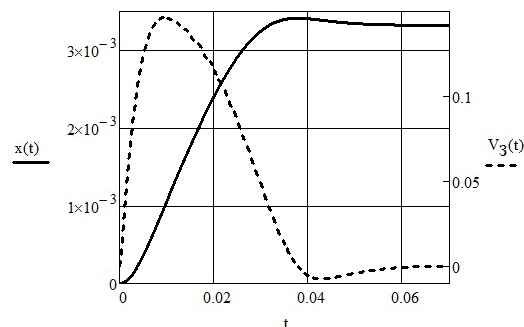


Рис. 1 – Динаміка швидкості руху та положення жорстко зв'язаних заслінки та запірного елементу клапану

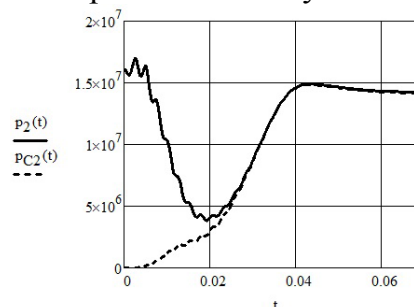


Рис. 2 – Динаміка тисків у штоковій порожнині гідроциліндру та каналі сопла

синхронно. Різке падіння тиску p_2 на початку перехідного процесу практично не впливає на стабільність положення y поршня зі штоком гідроциліндру (товста лінія на рис. 3). За весь час перехідного процесу поршень зі штоком переміщуються на відстань трохи більшу 4 мм, що значно менше, ніж загальний хід поршня – 20 см. Характер перехідного процесу по y близький до аперіодичного. Затухаючий коливальний характер перехідного процесу зміни швидкості V_{Π} поршня зі штоком (тонка лінія на рис. 3) пояснюється стисливістю рідини та значним інерційним навантаженням на штоку. Коливання швидкості V_{Π} не перевищують допустимих меж.

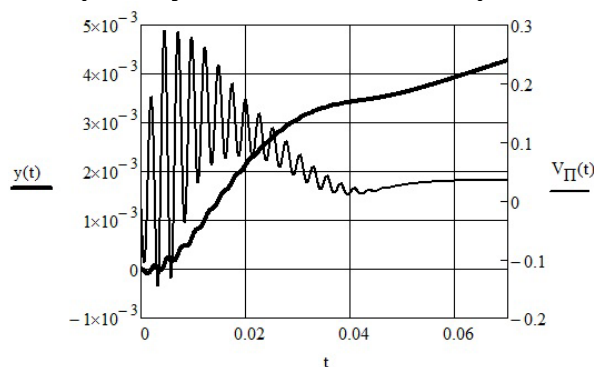


Рис. 3 – Динаміка швидкості руху та положення поршня зі штоком

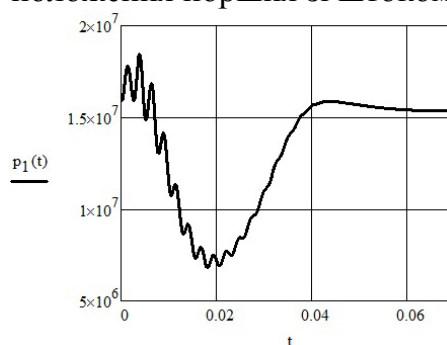


Рис. 4 – Динаміка тиску у поршневій порожнині гідроциліндра

Зміна тиску p_1 в поршневій порожнині гідроциліндру (рис. 4) протікає синхронно зі зміною тиску p_2 в його штоковій порожнині із певним перепадом тиску між порожнинами – $(p_1 - p_2) \leq 3,5 \text{ МПа}$. Як видно із рис. 5 витрата $Q_{\text{КЛ}}$ через клапан та елемент сопло-заслінка (пунктирна лінія) значно більша ніж $Q_{\text{ДР}}$ надходження робочої рідини через вхідний дросель (суцільна лінія). Це провокує злив $Q_{\text{ГЦ}}$ частини

робочої рідини зі штокової порожнини гідроциліндру, який в свою чергу і визначає рух поршня зі штоком. Також необхідно зважати на витрату $Q_{\text{СТ}}$ рідини спровоковану зміною її об'єму внаслідок змін тиску. Форма характеристики перехідного процесу зміни витрати $Q_{\text{ГЦ}}(t)$ рідини зі штокової порожнини гідроциліндру повторює форму характеристики зміни швидкості $V_{\Pi}(t)$. Витрата $Q_{\text{СТ}}(t)$ стиснення рідини спровокована змінами тиску $p_2(t)$ у штоковій порожнині та повторює форму його зміни у часі. Тому характеристики перехідних процесів величин $Q_{\text{ГЦ}}(t)$ та $Q_{\text{СТ}}(t)$ в рамках даної статті наводити не будемо.

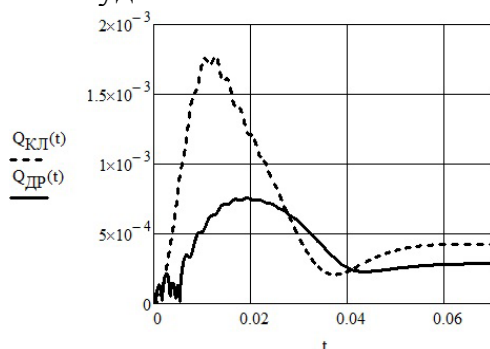


Рис. 5 – Динаміка надходження робочої рідини через вхідний дросель та її витрат через клапан та елемент сопло-заслінка

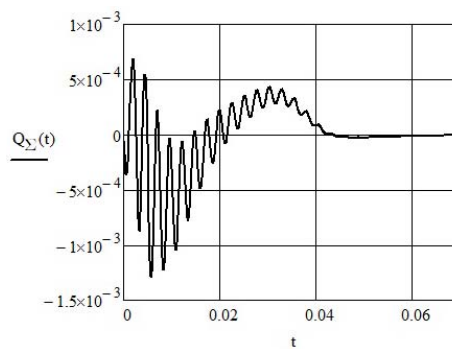


Рис. 6 – Динаміка сумарних витрат робочої рідини для штокової порожнини гідроциліндра

Перевірку правильності проведеного імітаційного моделювання зробимо за сумарними витратами для штокової порожнини гідроциліндра:

$$Q_{\Sigma}(t) = Q_{\text{ДР}}(t) - Q_{\text{КЛ}}(t) + Q_{\text{ГЦ}}(t) - Q_{\text{СТ}}(t), \quad (1)$$

Графік залежності (1) наведено на рис. 6. Після завершення перехідного процесу сумарна витрата для контрольної порожнини дорівнює нулю, що свідчить про коректність проведеного імітаційного моделювання.

Висновок. Перспективи подальших досліджень. Імітаційне моделювання процесу перемикання розглянутого мехатронного модуля із режиму гідростопоріння в режим регулювання показало наступне:

1. Для численого інтегрування жорсткої нелінійної системи диференціальних рівнянь [7] найкраще підходить метод radau-5;

2. Для вказаних вище початкових умов, а також обраних конструктивних та функціональних параметрів час протікання процесу перемикання мехатронного модуля із режиму гідростопоріння в режим регулювання становить не більше 60 мс, що є хорошим показником;

3. При протіканні перехідного процесу значення основних змінних величин не виходять за допустимі межі та не впливають на сталість вихідної ланки мехатронного модуля – штока гідроциліндру із силовим та інерційним навантаженнями;

4. Математична модель запропонована в [7] є адекватною. Перевірено, що вона дозволяє отримувати характеристики перехідних процесів мехатронного модуля із іншими конструктивними та функціональними параметрами ніж наведені в рамках даної статті. Однак для імітаційного моделювання процесу перемикання електрогідрравлічного перетворювача, що під'єднаний до поршневої порожнини мехатронного модуля (див. розрахункову схему рис. 1 [7]) математична модель [7] потребує певних змін.

Серед найближчих перспектив досліджень потрібно відзначити необхідність уточнення математичної моделі [7], так щоб вона могла описувати динаміку регулювання тиску в поршневій порожнині гідроциліндру. На основі отриманої математичної моделі необхідно провести імітаційне моделювання. Також необхідне моделювання процесу одночасного переходу обох нормально-закритих електрогідрравлічних перетворювачів мехатронного модуля із режиму гідростопоріння в режим регулювання.

Список літератури: 1. Пат. 76766 Україна, МПК (2006) F15B 3/00. Електрогідрравлічний підсилювач / Сковорчевський О.Є.; заявник та патентовласник Сковорчевський О.Є. – № 2004021138 ; заявл. 17.02.04 ; опубл. 15.09.06, Бюл. № 9. 2. Сковорчевський О.Є. Математичне моделювання статичних робочих процесів електрогідрравлічних перетворювачів нормально-закритого типу / О.Є. Сковорчевський // Вісник НТУ «ХПІ»: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» – 2011. – № 45. – С. 48-54. 3. Сковорчевський О.Є. Експериментальні дослідження статичних робочих процесів електрогідрравлічного перетворювача нормально-закритого типу / О.Є. Сковорчевський // Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – № 2. – С. 43-51. 4. Сковорчевський О.Є. Верифікація нелінійних математичних моделей пропорційної гідроапаратури на основі експериментальних досліджень / О.Є. Сковорчевський // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2011. – Випуск 22(195). – С. 236-245. 5. Сковорчевський А.Е. Имитационное моделирование переходных процессов нормально-закрытого электрогидравлического преобразователя / А.Е. Сковорчевский // Международный научно-технический форум, посвященный 100-летию ОАО «Кузнецов» и 70-летию СГАУ, Самара, 5-7 сентября 2012 года: Сборник трудов в 3-х томах. Том 2. Международная научно-техническая конференция с участием молодых учёных «Динамика и виброакустика машин». – Самара: Издательство Самарского государственного аэрокосмического университета, 2012. – С. 234-235. 6. Сковорчевський О.Є. Інваріантний до ε електрогідрравлічний слідкуючий привод зі змінною структурою / О.Є. Сковорчевський // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2012. – Випуск 2(24). – С. 207-217. 7. Сковорчевський О.Є. Математична модель мехатронного модуля, побудованого із використанням нормально-закритих електрогідрравлічних перетворювачів / О.Є. Сковорчевський // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2012. – № 6/7(60). – С. 66-70.

Надійшла до редколегії 15.12.2012

Імітаційне моделювання процесу перемикання мехатронного модуля лінійного переміщення із режиму гідростопоріння в режим регулювання/ О. Є. Скворчевський // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 46-51. – Бібліогр.: назв.

Основной целью работы было теоретическое обоснование возможности реализации режимов гидростопорения и регулирования мехатронного модуля, построенного с использованием запатентованных электрогидравлических преобразователей. Для достижения поставленной цели было проведено численное интегрирование нелинейной системы дифференциальных уравнений, которая является математической моделью процесса переключения модуля из одного режима в другой. Характеристики переходного процесса имеют достаточно высокое качество.

Ключевые слова: мехатронный модуль, электрогидравлический преобразователь, жесткая нелинейная система дифференциальных уравнений, переходной процесс.

The main purpose of the work was theoretical justification options for implementation modes of hydrostop and mechatronic control module that is constructed with patented electro converters. To achieve this goal was the numerical integration of nonlinear differential equations, which is a mathematical model of the process of switching module from one mode to another. Characteristics of the transition process have high quality.

Keywords: mechatronic module, electro transducer, rigid system of nonlinear differential equations, the transition process.

УДК 519.6 : 616-073.75

О. О. ФРАЗЕ-ФРАЗЕНКО, заступник начальника Центру інформаційних технологій, Одеський національний економічний університет

АНАЛІЗ СПЛАЙН-МЕТОДІВ З МЕТОЮ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ КОНТУРІВ ЗОБРАЖЕНЬ

Приведено опис та короткий аналіз сплайн-методів, які застосовуються або можуть бути застосовані для контурної обробки зображень. Розглядаються: оператор Лапласа, фільтр Лапласа, матриця Лапласа, оператор Собеля, дискретна функція Гріна, дискретний оператор Шредінгера.

Ключові слова: контур, зображення, оператор Лапласа, фільтр Лапласа, матриця Лапласа, оператор Собеля, дискретна функція Гріна, дискретний оператор Шредінгера.

Вступ

Завдання аналізу та розпізнавання зображень складних об'єктів (наприклад, електронних зображень людей, рукописних символів, картографічних зображень та ін.) у діючих технологічних системах та мережах на сьогодні не має достатньо ефективних рішень: точність розпізнавання варіюється від 60 до 70%. Така ж ситуація спостерігається у області теорії електронного зору, яка останнім часом активно впроваджуються в охоронних системах та у інших системах захисту. Багатьма дослідниками було встановлено, що чим складніший візуальний образ піддається аналізу, тим більшої важливості набуває розуміння того, що аналізується. Тільки маючи в своєму розпорядженні знання про наочну область, яка відображається, система розпізнавання зможе сформулювати семантичні описи зображень. Відповідно, *актуальною проблемою* може бути вирішення завдання щодо аналізу та систематизації методів та алгоритмів аналізу зображень складних об'єктів. Об'єктом аналізу, як показав огляд літературних джерел, найчастіше є півтонове зображення об'єкту, що отримане з відеокамер зовнішнього огляду, контур якого може бути вербально (словесно) описаний.

Аналіз останніх досліджень і документів, у яких викладено підходи до вирішення проблеми

Як видно з вище викладеного, проблема автоматичного аналізу форми та стану просторових об'єктів, інформація про які представлена у вигляді зображень, є актуальною для охоронних систем та інших систем безпеки. Зазначеній проблемі достатньо приділяли увагу зарубіжні вчені, включаючи вчених країн СНД, а саме: Т. Kanade та В. Lucas (Канада) [1], У. Претт [2], М. Kaas та А. Witkin [3], D. Terzopoulos [4], S. Arulampalam, S. Maskell, N. Gordon та Т. Clapp [5], R. Gonzalez та R. Woods [6] (США), М. Rachuta, В. Wilamowski та А. Malinowski [7] (Польща), Б. Залеський, К. Айда-заде, Дж. Гасанов, Е. Мустафаєв, В. Бериков та ін. [8] (Росія) та багато інших.

Як показали зазначені дослідники, теоретичні основи контурного аналізу та аспекти його практичного застосування для розпізнавання зображень є базою для подальших досліджень проблеми достовірної обробки даних, які можуть бути отримані спеціальними засобами в технологічних системах та мережах.

Невирішені проблеми

Окрім вище сказаного, для вирішення багатьох проблемних питань, необхідно привести деякі основні викладки, які, в основному, стосуються аспектів теорії. Як показав аналіз, багато таких питань недостатньо системно викладені в літературних

джерелах. До них, наприклад, відносяться питання уточнення щодо використання відомих алгоритмів обробки зображень стосовно до спеціальних технологічних систем та мереж. Так, у таких системах однією з найбільш важливих складових є швидкість обробки зображення з метою прийняття оперативних рішень. При цьому рішення повинне прийматися з практично 100% вірогідністю, враховуючи той факт, що найчастіше воно приймається в автоматичному режимі.

Мета статті

Враховуючи сказане, метою статті є огляд, систематизація та внесення удосконалень щодо основних теоретичних положень про сплайн-методи, які можуть бути використані для дослідження методів розпізнавання зображень.

Виклад основного матеріалу

Перед тим, як розпочати розгляд основних елементів сплайн-методів, які можуть бути використані для обробки контурів зображень, приведемо загальні відомості щодо історії їх появи та загальних областей їх застосування. Так, поява *сплайнів* (див. далі) була наслідком теорії полігонального моделювання. **Полігональне моделювання** (від англ. *polygonal modeling*) [9] – це найперший різновид тривимірного моделювання, яке з'явилася в ті часи, коли для визначення точок у тривимірному просторі доводилося вводити вручну з клавіатури координати X , Y та Z . Як відомо, якщо три або більше точок координат задані в якості вершин і з'єднані ребрами, то вони формують багатокутник (полігон), який може мати колір та текстуру. З'єднання групи таких полігонів дозволяє змодельовати практично будь-який об'єкт. Недолік полігонального моделювання полягає в тому, що всі об'єкти повинні складатися з крихитних плоских поверхонь, а полігони повинні мати дуже малий розмір, інакше краї об'єкта будуть мати нечіткий вигляд. Це означає, що якщо для об'єкта передбачається збільшення, його необхідно моделювати з більшою кількістю полігонів (щільністю). Завдяки зростанню потужності процесорів та графічних адаптерів, останнім часом в графічних програмах спостерігається перехід з *полігонів* на *сплайни* і, на даний момент, вже існують програми, які абсолютно не підтримують технології полігонального моделювання. У зв'язку з цим багатофункціональні засоби редагування полігонів поступово перетворилися в інструменти для роботи зі сплайнами. Саме такі полігони є одним з предметів дослідження.

За встановленим означенням, **сплайн** (англ. *spline* – планка, рейка) [10] – функція, область визначення якої розбита на кінцеве число відрізків на кожному з яких сплайн співпадає з деяким алгебраїчним поліномом. Максимальний ступінь з використаних поліномів в науковій літературі називають *ступенем сплайну*. Різниця між ступенем сплайну та гладкістю, яка отримана в процесі обробки, названа *дефектом сплайну*. В подальшому поняття про сплайн будемо використовувати як в явному, так і неявному вигляді при описі тих чи інших процедур обробки зображень.

Як правило, об'єкти на зображеннях, які обробляються в технологічних системах, характеризуються істотною значущістю фонові складової, яка може перевищувати по амплітуді корисний сигнал, що надзвичайно ускладнює обробку зображення з метою виділення необхідного контуру. Це, звичайно, призводить до збільшення часу обробки.

Попередні дослідження показали, що безпосереднє використання стандартних методів обробки зображень виявляється неефективним, в основному, в силу складності та динамічності фонові та стохастичної складових тих процесів, за якими ведеться спостереження. Як зазначається в науковій літературі, на сьогоднішній день емпіричними шляхами є можливість підібрати попередні комбіновані методи обробки зображень, які забезпечують зниження впливу фону на результати спостережень. Це дозволило перейти до наступної задачі по виділенню характерних зон, пов'язаних з

аналізом стану об'єкту за яким ведеться спостереження. Т.ч., *однією зі складових статті* є аналіз існуючих методів сегментації та виявлення комплексного перетворення, що забезпечує виділення зон, діагностично важливих при обробці зображень.

Виходячи зі сказаного та з врахуванням даних, які є в достатньо чисельній літературі, було встановлено, що в основу методів сегментації покладені властивості розривності. При цьому виявлено, що інформативними ознаками є:

- різкі зміни яскравості;
- перепади інтенсивності та неоднорідності в сенсі заздалегідь обраних критеріїв сигналу яскравості.

Відомі методи дослідження розривів яскравості напівтонових зображень засновані на обробці зображень ковзною ізотропною або анізотропною маскою з підбором її коефіцієнтів відповідно до розв'язуваного завданням. Це еквівалентно визначенню першої та другої похідних на перепаді яскравості операторами Собеля та Лапласа.

Як слідує з літературних джерел [11], *оператор Собеля* застосовується в алгоритмах виділення меж. По суті, це дискретний диференційний оператор, що обчислює наближене значення градієнта яскравості зображення. Результатом застосування оператора Собеля в кожній точці зображення є або вектор градієнта яскравості в цій точці, або його норма. Оператор Собеля заснований на згортці зображення невеликими сепарабельними цілочисельними фільтрами у вертикальному та горизонтальному напрямках, тому його відносно легко обчислювати. З іншого боку, використовувана ним апроксимація градієнта досить груба, особливо це позначається на високочастотних коливаннях зображення. Як наслідок, можемо констатувати, що оператор Собеля доцільно використовувати при попередньому аналізі зображень. Спрощено суть використання полягає в наступному.

Оператора Собеля обчислює градієнт яскравості зображення в кожній точці. По суті, знаходиться напрям найбільшого збільшення яскравості та величина її зміни в цьому напрямі. Результат його використання показує, наскільки «різко» або «плавно» міняється яскравість зображення в кожній точці, а значить, ймовірність знаходження точки на грані, а також орієнтацію межі. Як показала практика, обчислення величини зміни яскравості (ймовірність приналежності до грані) є надійнішим та простішим методом щодо інтерпретації результатів, ніж розрахунок напрямку.

Математично, градієнтом функції двох змінних для кожної точки зображення (що, по суті, являється *функцією яскравості*) є двовимірний вектор, компонентами якого є похідні яскравості зображення по горизонталі та по вертикалі. У кожній точці зображення градієнтний вектор орієнтований у напрямі найбільшого збільшення яскравості, а його довжина відповідає величині зміни яскравості. Це означає, що результатом оператора Собеля в конкретній точці області постійної яскравості буде нульовий вектор, а в точці, що лежить на межі областей різної яскравості – вектор, який перетинає межу у напрямі збільшення яскравості.

По методиці, яка пропонується деякими вченими, розглянемо формальну сторону питання щодо використання оператора Собеля. строго кажучи, по визначенню, оператор використовує ядра 3×3 , з якими згортається початкове зображення для обчислення наближених значень похідних по горизонталі та по вертикалі.

нехай A початкове зображення, а G_x та G_y – два зображення, у яких кожна точка містить наближені похідні по x та по y . вони можуть бути обчислені таким чином:

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} * A \text{ and } G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A,$$

де символ * позначає двовимірну операцію згортки.

У приведеному виразі координата x зростає «направо», а y – «вниз».

У кожній точці зображення наближене значення величини градієнта можна поелементно обчислити, використовуючи набуті наближення значень похідних, а саме:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}.$$

З використанням цієї інформації обчислюється напрям градієнта:

$$\Theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right),$$

де, наприклад, кут Θ , що дорівнює нулю для вертикальної межі у якої темна сторона зліва.

Втім, оскільки функція яскравості відома тільки в дискретних точках, немає можливості визначити похідні до тих пір, поки не яскравість не покладена у вигляді такої функції, яка є безперервною та проходить через ці точки. З врахуванням цієї додаткової передумови похідну безперервної функції яскравості можна обчислити від функції, з якої взяті виміри, тобто точки зображення. виявляється, що похідні в будь-якій окремій точці є функціями яскравості від всіх точок зображення. Проте наявні методи обчислень дозволяють розрахувати лише наближення їх похідних з більшим або меншим ступенем точності.

Оператор Собеля представляє собою менш точне наближення градієнта зображення, але він достатньо якісний для практичного застосування в багатьох задачах. З об'єктивної точки зору оператор використовує значення інтенсивності кожного пікселя тільки в околицях раніше розглянутої матриці (ядра) 3×3 для отримання наближення відповідного градієнта зображення. При цьому для оцінки градієнта використовуються тільки цілочисельні значення вагових коефіцієнтів яскравості. Втім, в літературних джерелах відзначається, що оператор Собеля може бути розширений на іншу кількість вимірювань, крім вище розглянутої. так, він складається з двох окремих операцій:

1) Згладжування трикутним фільтром в напрямі, який є перпендикулярним до похідній, тобто: $h(-1)=1$, $h(0)=2$, $h(1)=1$;

2) Знаходження простої центральної зміни у напрямі похідної, тобто: $h'(-1)=1$, $h'(0)=0$, $h'(1)=-1$.

Фільтри Собеля для похідних зображення в різних просторах для $x, y, z, t \in (0, -1, 1)$ записуються так:

$$1D: h'_x(x) = h'(x);$$

$$2D: h'_x(x, y) = h'(x)h(y);$$

$$3D: h'_x(x, y, z) = h'(x)h(y)h(z);$$

$$4D: h'_x(x, y, z, t) = h'(x)h(y)h(z)h(t).$$

Приклад тривимірного ядра Собеля для осі z :

$$h'_z(:, :, -1) = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ +2 & +4 & +2 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix}; h'_z(:, :, 0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; h'_z(:, :, 1) = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & -4 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}.$$

Розглянемо технічні деталі щодо практичної реалізації оператора Собеля.

Як впливає з визначення, зазначений оператор можна реалізувати простими технічними та програмними засобами: для наближення вектор-градієнта потрібні тільки

вісім пікселів навколо точки зображення і цілочисельна арифметика. Більш того, обидва дискретні фільтри, згадані вище, можна розділити, тобто:

$$\begin{bmatrix} +1 & 0 & -1 \\ +2 & 0 & -2 \\ +1 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} +1 & 0 & -1 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} +1 & + & +1 \\ 0 & 0 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +1 \\ 2 \\ -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Тепер дві похідні, тобто G_x та G_y , обчислюються так:

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} * ([+1 \ 0 \ -1] * A) \text{ and } G_y = \begin{bmatrix} +1 \\ 2 \\ -1 \end{bmatrix} * ([1 \ 2 \ 1] * A).$$

Роздільність приведених обчислень може привести до зменшення арифметичних дій з кожним пікселем, що, в принципі, відповідає поставленій меті.

Застосування згортки K до групи пікселів P представляється псевдокодом:

$$N(x, y) = \sum_i^j K(i, j) P(x - i, y - j) \text{ для } i, j \in (-1, 1).$$

Значення $N(x, y)$ є результатом застосування матриці згортки K до P .

Програмна реалізація оператора Собеля може ефективно використовувати SIMD-расширения [12] системи команд сучасних процесорів, де SIMD-розширення має на увазі векторизацію коду. При цьому виграш в швидкості обчислення оператора, як зазначають багато дослідників, може складати до 5 разів в порівнянні з високорівневою реалізацією, відомості про яку також є в науковій літературі.

Як видно з приведенного, оператор Собеля може згладжувати паразитні ефекти на зображенні, що викликаються чисто центрально-диференційним оператором, але не володіє повною дзеркальною симетрією [13]. З метою усунення цього недоліку пропонується використати дослідження Щарра, який поліпшив оператор Собеля, і знайшов, що кращі результати дає наступне ядро:

$$\begin{bmatrix} +3 & +10 & +3 \\ 0 & 0 & 0 \\ -3 & -10 & -3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} +3 & 0 & -3 \\ +10 & 0 & -10 \\ +3 & 0 & -3 \end{bmatrix}.$$

Тепер проаналізуємо можливості використання оператора Лапласа [14].

Оператор Лапласа – диференційний оператор, що діє в лінійному просторі гладких функцій, та позначається як Δ . Досліджуваній функції F оператор Лапласа ставить у відповідність функцію $\left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2}{\partial x_n^2} \right) F$.

За визначенням, оператор Лапласа еквівалентний послідовному виконанню операцій градієнта та дивергенції, тобто: $\Delta = \text{div grad}$. Т.ч., значення оператора Лапласа в деякій точці може бути пояснено як щільність джерел потенційного векторного поля $\text{grad } F$ в цій точці. В системі координат Декарта оператор Лапласа часто позначають, як $\Delta = \nabla \cdot \nabla = \Delta^2$, тобто у вигляді скалярного добутку оператора Набла [15] на себе. Слід зазначити, що оператор Лапласа є унітарним оператором, тобто програмно-математична складність його обчислення є достатньо простою. Покажемо можливість його використання для рішення проблеми дослідження.

Для досягнення поставленої мети, розглянемо наступне визначення оператора Лапласа [14].

Оператор Лапласа є природним узагальненням на функції декількох змінних звичайної другої похідної функції однієї змінної. Так, якщо функція $f(x)$ має в околиці точки x_0 безперервну другу похідну $f''(x)$, то, як це витікає з відомої формули Тейлора [16],

$$f(x_0 + r) = f(x_0) + rf'(x_0) + \frac{r^2}{2} f''(x_0) + O(r^2), \text{ при } r \rightarrow 0;$$

$$f(x_0 - r) = f(x_0) - rf'(x_0) + \frac{r^2}{2} f''(x_0) + O(r^2), \text{ при } r \rightarrow 0.$$

Другою похідною є межа

$$f''(x_0) = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{2}{r^2} \left\{ \frac{f(x_0 + r) + f(x_0 - r)}{2} - f(x_0) \right\}.$$

Якщо, переходячи до функції F від k змінних, поступити таким же чином, тобто для заданої точки $M_0(x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0)$ розглядати її k -мірну кульову околицю Q_r радіусу r і різницю між середнім арифметичним $\frac{1}{\sigma(S_r)} \int_{S_r} F d\sigma$ функції F на межі S_r такої околиці з площею межі $\sigma(S_r)$ і значенням $F(M_0)$ в центрі цієї околиці M_0 , то у разі безперервності других часткових похідних функції F у околиці точки M_0 , значенням лапласіана ΔF у цій точці, є межа $\Delta F(M_0) = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{2k}{r^2} \left\{ \frac{1}{\sigma(S_r)} \int_{S_r} F(M) d\sigma - F(M_0) \right\}$.

Одночасно з попереднім представленням для оператора Лапласа функції F , що має безперервні другі похідні, справедлива формула:

$$\Delta F(M_0) = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{2(k+2)}{r^2} \left\{ \frac{1}{\omega(Q_r)} \int_{Q_r} F(M) d\omega - F(M_0) \right\},$$

де $\omega(Q_r)$ – об'єм околиці Q_r .

Ця формула виражає безпосередній зв'язок лапласіана, як функції з її об'ємним середнім в околиці даної точки. Доказ цих формул приведений в [17].

Вищевикладені межі, у всіх випадках, коли вони існують, можуть служити визначенням оператора Лапласа функції F . Таке визначення щодо його практичного використання, є більш переважним, ніж звичайне визначення лапласіана, що припускає існування других похідних даних функцій, і співпадає зі звичайним визначенням у разі безперервності цих похідних. Втім, з наукової точки зору, для досліджень може бути цікавим представлення оператора Лапласа у різних криволінійних системах координат і, відповідно, покажемо зазначене так, як це зроблено в [14].

У довільних ортогональних криволінійних координатах у тривимірному просторі $\langle q_1, q_2, q_3 \rangle$ оператор Лапласа може бути записаний так:

$$\Delta f \langle q_1, q_2, q_3 \rangle = \operatorname{div} \operatorname{grad} f(q_1, q_2, q_3) =$$

$$= \frac{1}{H_1 H_2 H_3} \left[\frac{\partial}{\partial q_1} \left(\frac{H_2 H_3}{H_1} \frac{\partial f}{\partial q_1} \right) + \frac{\partial}{\partial q_2} \left(\frac{H_1 H_3}{H_2} \frac{\partial f}{\partial q_2} \right) + \frac{\partial}{\partial q_3} \left(\frac{H_1 H_2}{H_3} \frac{\partial f}{\partial q_3} \right) \right],$$

де H_i – коефіцієнти Ламе [18], які розраховуються так, як це показано нижче.

Застосовуючи відоме правило сумування Ейнштейна, диференціал дуги в криволінійних координатах записується у вигляді:

$$dS^2 = \left(\frac{\partial \varphi_1}{\partial q_i} \mathbf{d}\mathbf{q}_i \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi_2}{\partial q_i} \mathbf{d}\mathbf{q}_i \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi_3}{\partial q_i} \mathbf{d}\mathbf{q}_i \right)^2, \quad i=1,2,3.$$

Зважаючи на ортогональність систем координат, тобто $\mathbf{d}\mathbf{q}_i \cdot \mathbf{d}\mathbf{q}_j = 0$ при $i \neq j$, є можливість запису цього виразу у вигляді:

$$dS^2 = H_1^2 dq_1^2 + H_2^2 dq_2^2 + H_3^2 dq_3^2,$$

$$\text{де } H_i = \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi_1}{\partial q_i} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi_2}{\partial q_i} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi_3}{\partial q_i} \right)^2}, \quad i=1,2,3.$$

Позитивні величини H_i , залежні від точки простору, в літературі називають коефіцієнтами Ламе [18] або *масштабними коефіцієнтами*. Коефіцієнти Ламе показують, скільки одиниць довжини міститься в одиниці координат даної точки і використовуються для перетворення векторів при переході від однієї системи координат до іншої. Тензор риманової метрики [19], записаний в координатах $\mathbf{q}_i$, представляє з себе діагональну матрицю, на діагоналі якої стоять квадрати коефіцієнтів Ламе, а саме:

$$\left. \begin{matrix} q_{ii} = H_i^2 \\ q_{ij} = 0 \end{matrix} \right\} \text{ для } i \neq j, \text{ тобто } q_{ij} = \begin{pmatrix} H_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & H_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & H_3^2 \end{pmatrix}.$$

В циліндричних координатах оператор Лапласа може бути записаний так:

$$\Delta f = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial f}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 f}{\partial \varphi^2},$$

де $r \neq 0$.

Для сферичних координат поза початком відліку (тобто в тривимірному просторі):

$$\Delta f = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial f}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \Theta} \frac{\partial}{\partial \Theta} \left(\sin \Theta \frac{\partial f}{\partial \Theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \Theta} \frac{\partial^2 f}{\partial \varphi^2}$$

або

$$\Delta f = \frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial r^2} r f + \frac{1}{r^2 \sin \Theta} \frac{\partial}{\partial \Theta} \left(\sin \Theta \frac{\partial f}{\partial \Theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \Theta} \frac{\partial^2 f}{\partial \varphi^2}.$$

У тому випадку, коли $f = f(r)$, в n -вимірному просторі оператор записується у вигляді:

$$\Delta f = \frac{d^2 f}{dr^2} + \frac{n-1}{r} \frac{df}{dr}.$$

Для параболічних координат поза початком відліку (тобто в тривимірному просторі):

$$\Delta f = \frac{1}{\sigma^2 + \tau^2} \left[\frac{1}{\sigma} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\sigma \frac{\partial f}{\partial \sigma} \right) + \frac{1}{\tau} \frac{\partial}{\partial \tau} \left(\tau \frac{\partial f}{\partial \tau} \right) \right] + \frac{1}{\sigma^2 \tau^2} \frac{\partial^2 f}{\partial \varphi^2}.$$

Для координат параболічного циліндру поза початком відліку (тобто в тривимірному просторі):

$$\Delta F(u, v, z) = \frac{1}{c^2(u^2 + v^2)} \left[\frac{\partial^2 F}{\partial u^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial v^2} \right] + \frac{\partial^2 F}{\partial z^2}$$

І на закінчення покажемо, який вид має оператор Лапласа у загальних криволінійних координатах в просторі Римана [14].

Нехай плоскій множині X задана локальна система координат, а q_{ij} є риманів метричний тензор на X , тобто метрика має вигляд:

$$ds^2 = \sum_{i,j=1}^n q_{ij} dx^i dx^j.$$

Позначимо через q^{ij} елементи матриці $(q_{ij})^{-1}$, а також $q = \det q_{ij} = (\det q^{ij})^{-1}$. Дивергенція векторного поля F , яке задане координатами F^i (тобто такого поля, яке є диференціальним оператором першого порядку $\sum_i F^i \frac{\partial}{\partial x^i}$) на плоскій множині X може бути обчислена по формулі $\operatorname{div} F = \frac{1}{\sqrt{q}} \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial x^i} \right) \sqrt{q} F^i$, а компоненти градієнта функції f – по формулі $(\nabla f)^i = \sum_{j=1}^n q^{ij} \frac{\partial f}{\partial x^j}$. Свого часу Бельтрамі [20] показав, що на плоскій множині X оператор Лапласа можна представити у скалярній формі, тобто значення Δf не змінюється при будь-якому перетворенні координат. Оператор отримав назву «оператор Лапласа-Бельтрамі» і записується у вигляді:

$$\Delta f = \operatorname{div}(\nabla f) = \frac{1}{\sqrt{q}} \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial x^i} \left(\sqrt{q} \sum_{k=1}^n q^{ik} \frac{\partial f}{\partial x^k} \right).$$

Як видно з вище приведеного, основна складність при використанні операторів Собеля та Лапласа для розпізнавання зображень, полягає в суттєвому впливі шумів на результати сегментації. Подальші проведені дослідження показали можливість використання цих методів лише спільно з попередньою фільтрацією зображень. На практичних випробовуваннях доцільним виявився метод, який використовує *дискретний оператор Лапласа* у якості цифрового фільтру.

Покажемо, що дискретний оператор Лапласа є саме тією математичною основою, яку доцільно використати для вирішення поставленого завдання, тобто для найбільш точного та достовірного розпізнавання зображень.

У математиці **дискретний оператор Лапласа** – аналог безперервного оператора Лапласа, який визначається як відношення на графі або дискретній сітці. У разі скінченномірного графа (що має кінцеве число вершин і ребер) дискретного оператора Лапласа має більш загальну назву – *матриця Лапласа*.

Згідно [21], поняття про дискретний оператор Лапласа походить з таких фізичних проблем, як модель Ізінга [22] та петльова квантова гравітація [23], а також з визначення динамічних систем [24]. Цей оператор використовується в обчислювальній математиці як аналог безперервного оператора Лапласа. Будучи відомим як фільтр Лапласа, він знайшов застосування в системах обробки зображень. Крім того, оператор використовується в машинному навчанні для кластеризації та напіваавтоматичного навчання на графах сусідства [25].

Приведемо загальні відомості стосовно визначення дискретного оператора Лапласа [14] щодо обробки зображень.

Так, найчастіше зазначений оператор використовується при рішенні задач виділення контурів (меж, границь) та в додатках оцінки руху. У цьому сенсі дискретний лапласіан визначається як сума других похідних та обчислюється як сума перепадів на сусідах центрального пікселя. Нами виконана практична реалізація цього алгоритму, але тут не приводиться у зв'язку з достатньо великими обсягами отриманих даних.

Для одновимірних, двовимірних та тривимірних сигналів дискретний лапласіан представляється як згортка з такими ядрами (фільтрами) [14]:

$$1D: \quad \bar{D}_x^2 = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \end{bmatrix};$$

$$2D: \quad D_{xy}^2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

або з діагоналями:

$$2D: \mathbf{D}_{xy}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

$$3D: \text{ для першої похідної: } \mathbf{D}_{xy}^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\text{ для другої похідної: } \mathbf{D}_{xy}^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -6 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\text{ для третьої похідної: } \mathbf{D}_{xy}^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Ці ядра виводяться на основі відомих алгоритмів за допомогою дискретних часткових похідних. Саме ж представлення дискретного лапласіана для графа полягає в наступному [14].

Є різні визначення дискретного лапласіана, що розрізняються знаком та масштабним коефіцієнтом (іноді середні на сусідніх вершинах, іноді просто сума; це не має значення, якщо граф є регулярним).

Так, нехай $G=(V, E)$ буде графом з вершинами V та ребрами E . Нехай задана функція значень $\phi: V \rightarrow R$. Тоді дискретний лапласіан Δ від ϕ буде визначатися, як $(\Delta\phi)(v) = \sum_{\omega: d(\omega, v)=1} [\phi(\omega) - \phi(v)]$, де $d[\omega, v]$ – функція відстані між вершинами графа. Ця

сума – на найближчих сусідах вершини v . Для графа з кінцевою кількістю вершин та ребер це визначення співпадає з матрицею Лапласа, тобто ϕ може бути записано як вектор-стовбець, $\Delta\phi$ є вектор-стовбець, помножений на матрицю Лапласа, а $(\Delta\phi)(v)$ є лише запис векторного добутку для v . Якщо ребра графа мають ваги, тобто задана вагова функція $\gamma: E \rightarrow R$, то визначення записується у вигляді:

$$(\Delta_\gamma\phi)(v) = \sum_{\omega: d(\omega, v)=1} \gamma_{\omega v} [\phi(\omega) - \phi(v)], \text{ де } \gamma - \text{вага ребра } \omega v \in E.$$

Доцільним є використання усереднюючого оператора [26]:

$$(M\phi)(v) = \frac{1}{\deg v} \sum_{\omega: d(\omega, v)=1} \phi(\omega)$$

Спектр дискретного Лапласіана представляє ключовий інтерес: коли він має самозв'язаний спектр, він є дійсним. Якщо $\Delta = I - M$, то спектр лежить на відрізку $[0, 2]$ та містить нуль (для постійних функцій). В той же час для усереднюючого оператора його спектральні значення лежать на відрізку $[-1, 1]$. Найменше ненульове власне число λ_1 в літературі називають спектральною щільною. Зазвичай розрізняють і поняття про спектральний радіус, визначуваний як найбільше власне число.

Власні вектори не залежать від умовностей (для регулярних графів), і вони схожі з власними векторами усереднюючого оператора (розрізняючись додаванням), хоча власні значення можуть розрізнятися залежно від попередніх домовленостей [27].

Основою щодо використання Лапласіана для вирішення задач розпізнавання зображень, є наступна теорема.

Теорема. якщо граф представлений у вигляді нескінченних квадратних ґрат, то визначення Лапласіана можна пов'язати з безперервним лапласіаном через межу

нескінченних ґрат.

Доведення. Доведенням є наступна формула:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{[F(x + \varepsilon) - F(x)] + [F(x - \varepsilon) - F(x)]}{\varepsilon^2}.$$

Теорема доведена.

Саме приведені визначення Лапласіана використовуються в обчислювальній математиці та може бути використане при обробці зображень. У останньому випадку воно може розглядатися як різновид цифрового фільтру, або як граничний фільтр, що відомий з літератури [14], як фільтр Лапласа.

Не зважаючи на те, що для практичного використання є вибір дискретного оператора Лапласа та на його основі – фільтра Лапласа, для повноти огляду приведемо також узагальнюючі відомості щодо можливого застосування інших операторів-фільтрів. У цьому сенсі зазначимо, що їх технічна та програмна реалізація є ненабагато складнішою у порівнянні з математичними засобами Лапласа і, при необхідності, вони можуть бути використані при обробці зображень.

Розглянемо дискретний оператор Шредінґера [28].

Нехай $P: V \rightarrow R$ є потенціал, заданий на графі. Відмітимо, що P можна розглядати і як мультиплікативний оператор, що діє діагонально на ϕ : $(P\phi)(v) = P(v)\phi(v)$. Тоді $H = \Delta + P$ є дискретним оператором Шредінґера, тобто аналогом відомого неперервного оператора Шредінґера.

Якщо кількість ребер вершини рівномірно обмежена, то H є обмеженим і самозв'язаним. Спектральні властивості його гамільтоніана [29] можуть бути отримані з теореми Стоуна [30]: це слідство з подвійності між частково впорядкованими множинами та булевою алгеброю.

На регулярних ґратах оператор **Шредінґера** зазвичай має і хвилю, що біжить, і вирішення локалізації Андерсона – залежно від періодичності або випадковості потенціалу.

Наостаннє розглянемо дискретну функцію Гріна [31]. Вона пов'язана та слідує з оператора Шредінґера. Так, функція Гріна дискретного оператора Шредінґера задається резольвентою лінійного оператора [32]:

$$G(v, \omega, \lambda) = \left\langle \delta_v \left| \frac{1}{H - \lambda} \right| \delta_\omega \right\rangle,$$

де δ_ω розуміється як символ Кронекера [33] на графі $\delta_\omega(v) = \delta_{\omega v}$, тобто це дорівнює 1, якщо $v = \omega$, та 0 – в інших випадках.

Для фіксованого $\omega \in V$ та комплексного λ , функція Гріна розглядається як функція від v , та дає єдине унікальне рішення у вигляді рівняння:

$$(H - \lambda)G(v, \omega, \lambda) = \delta_\omega(v).$$

Висновки

Зважаючи на той факт, що проблема автоматичного аналізу форми та стану просторових об'єктів, інформація про які представлена у вигляді зображень, є актуальною для охоронних систем та інших систем безпеки, розглянуті основні теоретичні аспекти щодо систематизації методів контурного аналізу та аспекти його практичного використання спеціальними засобами в технологічних системах та мережах. Приведений огляд та внесенні удосконалень щодо основних теоретичних положень про сплайн-методи, можуть бути використані для дослідження методів розпізнавання зображень з метою оптимізації швидкості обробки зображень в системах оперативного прийняття рішень.

Список літератури: 1. Kanade, T. The image stabilizer plugin for Image [Електронний ресурс] / T. Kanade, B. Lucas // Портал : без назви. – Режим доступу \www/ URL: http://www.cs.cmu.edu/~kangli/code/Image_Stabilizer.html. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 30.10.2012. 2. Прэмм, У. Цифровая обработка изображений [Текст] : пер. с англ. / У. Прэмм. – В 2-х кн. – М. : Мир, 1982. – 792 с. 3. Kaas, M. Analyzing oriented patterns [Текст] / M. Kaas, A. Witkin // Comput. Vision Graphics Image Process. – 1987. – 362-385. 4. Terzopoulos, D. Regularization of inverse visual problems involving discontinuities [Текст] / D. Terzopoulos // IEEE Trans. PAMI. – 1986. – №4(8). – pp. 413-424. 5. Arulampalam, M. A Tutorial on Particle Filters for Online Nonlinear/ Non-Gaussian Bayesian Tracking [Текст] / M. Arulampalam, S. Maskell, N. Gordon, T. Clapp // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2002. – Vol. 50. – №2. – pp. 174-188. 6. Gonzalez, R. Digital Image Processing [Електронний ресурс] / R. Gonzalez, R. Woods // Addison Wesley Longman. – AWL, Inc. – 1992. – Портал : без назви. – Режим доступу \www/ URL: 202.197.67.17/yxtxcl/xtysj/dip_answer.pdf. – Заголовок з контейнера, доступ вільний, 30.10.2012. 7. Wilamowski, B. M. Computing Gradient Vector and Jacobian Matrix in Arbitrarily Connected Neural Networks [Текст] / B. M. Wilamowski та ін. – IEEE Transactions On Industrial Electronics. – 2008. – Т. 55. – №10. – С. 3784-3790. 8. Математические методы распознавания образов [Електронний ресурс]: Доклады XI Всерос. конф. (окт. 2003) / отв. ред. Ю. И. Журавлев. – М. : РАН, 2003. – 511 с. – Портал: без назви. – Режим доступу \www/ URL: <http://window.edu.ru/resource/825/50825/files/mmro11.pdf>. – Заголовок з контейнера, доступ вільний, 30.10.2012. 9. Polygonal Modeling [Електронний ресурс] / Портал : без назви. – Режим доступу \www/ URL: <http://www.arch.cuhk.edu.hk/server1/staff1/marcaurel/desc9019/tutorials/Readings/mayaDocs/PolygonalModeling.pdf>. – Заголовок з контейнера, доступ вільний, 28.09.2012. 10. Spline [Електронний ресурс]/Портал: En.wikipedia. – Режим доступу \www/ URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Spline_\(mathematics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Spline_(mathematics)). – Заголовок з екрану, доступ вільний, 23.10.2012. 11. Оператор Собеля [Електронний ресурс] / Портал : Ru.wikipedia. – Режим доступу \www/ URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/оператор_Собеля. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 16.10.2012. 12. Prescott New Instructions (SSE3): обзор новых SIMD расширений с точки зрения разработки и оптимизации программного обеспечения [Електронний ресурс] / Портал: IXBT. – Режим доступу \www/ URL: <http://www.ixbt.com/cpu/sse3.shtml>. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 17.10.2012. 13. Методи згладжування та корекції зображень [Електронний ресурс] / Портал: без назви. – Режим доступу \www/ URL: <http://www.kazedu.kz/referat/192238>. – Заголовок з екрану, доступ умовно-вільний, 17.10.2012. 14. Оператор Лапласа [Електронний ресурс] / Портал: Wikipedia. – Режим доступу \www/ URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/оператор_Лапласа. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 05.11.2012. 15. Оператор набла в различных системах координат [Електронний ресурс] / Портал : Ru.wikipedia. – Режим доступу \www/ URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Оператор_Набла_в_различных_системах_координат. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 05.11.2012. 16. Формула Тейлора. Степенные ряды [Електронний ресурс] / Портал : Прикладная математика. – Режим доступу \www/ URL: <http://www.pm298.ru/tei.php>. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 05.11.2012. 17. Тиман, А. Ф. Введение в теорию гармонических функций : монография / А. Ф. Тиман, В. Н. Трофимов. – М. : Наука, 1968. – 208 с. 18. Коэффициенты Ламе [Електронний ресурс] / Портал: Wikia. – Режим доступу \www/ URL: http://ru.math.wikia.com/wiki/Коэффициенты_Ламе. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 04.11.2012. 19. Риманова метрика [Електронний ресурс] / Портал: Академик. – Режим доступу \www/ URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_mathematics/4844/Риманова. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 30.09.2012. 20. Laplace-Beltrami operator [Електронний ресурс] / Портал : En.wikipedia. – Режим доступу \www/ URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Laplace-Beltrami_operator. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 30.09.2012. 21. Дискретный оператор Лапласа [Електронний ресурс] / Портал: Wikipedia. – Режим доступу \www/ URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Дискретный_оператор_Лапласа. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 27.09.2012. 22. Модель Ізінга [Електронний ресурс] / Портал: Uk.wikipedia. – Режим доступу \www/ URL: http://uk.wikipedia.org/wiki/Модель_Ізінга. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 05.11.2012. 23. Петльова квантова гравітація [Електронний ресурс] / Портал: Uk.wikipedia. – Режим доступу \www/ URL: http://uk.wikipedia.org/wiki/Петльова_квантова_гравітація. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 27.09.2012. 24. Динамічна система [Електронний ресурс] / Портал: Uk.wikipedia. – Режим доступу \www/ URL: http://uk.wikipedia.org/wiki/Динамічна_система. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 28.09.2012. 25. Способы задания графов и операции над графами [Електронний ресурс] / Портал Образовательный блог – всё для учебы. – Режим доступу \www/ URL:

<http://all4study.ru/matematika/sposoby-zadaniya-grafov-i-operacii-nad-grafami.html>. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 09.09.2012. **26.** Усредняющий оператор [Електронний ресурс] / Портал : Академик. – Режим доступу \www/ URL: http://universal_ru_en.academic.ru/2891741/Усредняющий_оператор. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 21.09.2012. **27.** Собственные векторы, значения и пространства [Електронний ресурс] / Портал : Ru.wikipedia. – Режим доступу \www/ URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Собственные_векторы,_значения_и_пространства, 05.11.2012. **28.** Шрёдингера оператора спектр [Електронний ресурс] / Портал : Академик. – Режим доступу \www/ URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/5233/Шрёдингера. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 27.09.2012. **29.** Гамильтониан [Електронний ресурс] / Портал : Энциклопедия физики и техники. – Режим доступу \www/ URL: http://www.femto.com.ua/articles/part_1/0668.html. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 28.09.2012. **30.** Теорема Стоуна про представления булевых алгебр [Електронний ресурс] / Портал: Uk.wikipedia. – Режим доступу \www/ URL: http://uk.wikipedia.org/wiki/Теорема_Стоуна_про_представления_булевых_алгебр. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 01.10.2012. **31.** Функция Грина [Електронний ресурс] / Портал : Wikia. – Режим доступу \www/ URL: http://ru.math.wikia.com/wiki/Функция_Грина. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 01.10.2012. **32.** Резольвента [Електронний ресурс] / Портал : без назви. – Режим доступу \www/ URL: <http://znaimo.com.ua/Резольвента.doc>. – Заголовок з контейнера, доступ вільний, 01.10.2012. **33.** Символ Кронекера [Електронний ресурс] / Портал : Викизнание http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/Символ_Кронекера. – Заголовок з екрану, доступ вільний, 01.10.2012.

Надійшла до редколегії 06.11.2012

УДК 519.6 : 616-073.75

Аналіз сплайн-методів з метою їх застосування ля обробки контурів зображень/ О. О.Фразе-Фразенко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. – № 66 (972). – С. 52-63. – Бібліогр.: 33 назв.

Приведено описание и краткий анализ сплайн-методов, которые используются или могут быть использованы для контурной обработки изображений. Рассматриваются: оператор Лапласа, фильтр Лапласа, матрица Лапласа, оператор Собеля, дискретная функция Грина, дискретный оператор Шредингера. Ил.: 0. Библиогр.: 33 назв.

Ключевые слова: контур, изображение, оператор Лапласа, фильтр Лапласа, матрица Лапласа, оператор Собеля, дискретная функция Грина, дискретный оператор Шредингера.

A description and brief analysis of spline methods that are used or can be used for contouring images. Considered: the laplacian, the filter of Laplace, the matrix of Laplace, the operator of Sobel, the discrete Green's function, the discrete Schrödinger operator. Im.: 0 : Bibliogr.: 33.

Keywords: contour, images, laplacian, filter of Laplace, matrix of Laplace, operator of Sobel, discrete Green's function, discrete Schrödinger operator.

УДК 621.391

В. В. КОРЧИНСКИЙ, канд. техн. наук, доц., Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

ПОВЫШЕНИЕ СКРЫТНОСТИ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ И ТАЙМЕРНЫХ СИГНАЛОВ

Для задачи повышения скрытности передачи предложен метод формирования сигнальных конструкций на основе псевдослучайной перестройки рабочей частоты и таймерных сигналов.

Ключевые слова: таймерный сигнал, псевдослучайная перестройка рабочей частоты.

Введение

В последнее время все больше внимания уделяется методам защиты передаваемой конфиденциальной информации на уровне физического канала [1]. Объясняется это возросшими возможностями средств несанкционированного доступа (НСД) по перехвату сигналов в канале и их дешифрованию.

© В. В. КОРЧИНСКИЙ, 2012

Известно [1], что противодействие средствам НСД в канале можно решать за счет сигнальных конструкций, обеспечивающих высокую скрытность передачи сообщений. Основными видами скрытности является энергетическая, структурная, информационная и др [1].

Энергетическая скрытность характеризует способность конфиденциальной системы связи (КСС) противостоять мерам НСД, направленным на обнаружение факта передачи сигнала. Если же станцией НСД проблема обнаружения и перехвата сигнала решена, то структурная скрытность должна противостоять мерам, которые направлены на распознавание формы сигнальной конструкции и измерение её параметров. Информационная скрытность определяется способностью противостоять мерам НСД, направленным на раскрытие смысла перехваченных сообщений с помощью сигналов информации [1]. Таким образом, каждый из показателей функции скрытности будет определять аргументы некоторого функционала, характеризующего обобщенный показатель скрытности сигнальной конструкции.

В статье для задачи повышения скрытности передачи предложен метод формирования сигнальных конструкций на основе псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ) и таймерных сигнальных конструкций (ТСК). Исследования в данном направлении были проведены для различных сигнальных конструкций [2, 3, 4] и, в том числе, как для систем передачи ППРЧ, так и ТСК. В [2] показано, что применение ППРЧ позволяет решать задачи по обеспечению энергетической скрытности передачи. В [3, 4] была дана оценка структурной и информационной скрытности ТСК, что позволило сделать вывод о перспективности их применения в конфиденциальных системах связи.

В связи с тем, что в современных системах связи защите конфиденциальной информации уделяется всё больше внимание, актуальным является развитие методов передачи, обеспечивающих повышение скрытности передачи.

Целью работы

Целью данной работы является синтез сигнальных конструкций на основе ТСК и ППРЧ.

Метод построения сигнальной конструкции

Рассмотрим особенности построения сигнальных конструкций на основе ППРЧ и ТСК.

Известно [1], что одним из способов повышения энергетической скрытности передачи является расширение спектра сигнала, занимающего полосу частот значительно более широкую по сравнению с полосой, минимально необходимой для передачи информации. Рабочая частота сигнала при методе передачи с ППРЧ перестраивается в широких пределах выделенного для связи частотного диапазона в соответствии с псевдослучайным кодом, известным только на приемной стороне и неизвестным средствам НСД.

В системе с бинарными сигналами различают системы связи с быстрым и медленным ППРЧ [1]. Если время передачи на одной частоте $t_{\text{пер}}$ соизмеримо или меньше длительности информационного элемента $t_{\text{пер}} \leq t_0$, то ППРЧ называют быстрым. Если $t_{\text{пер}} \geq t_0$, то такое ППРЧ называют медленным.

По порядку использования рабочих частот различают системы связи с последовательным ППРЧ, если в каждый момент времени передача ведется на одной частоте и с параллельным ППРЧ, если передача ведется одновременно на нескольких частотах [1]. Для сигналов с ППРЧ вводится понятие базы, характеризующей

расширение спектра

$$B = \frac{\Delta f_{\text{прч}}}{\Delta F_c}, \quad (1)$$

где $\Delta f_{\text{прч}}$ – ширина используемого для передачи диапазона частот; ΔF_c – ширина спектра передаваемого сигнала.

В системах связи могут применяться составные сигналы, использующие ФМ ПСП и ППРЧ. В этом случае база сигнала будет определяться выражением $B = M \times L$, где M – база ФМ ПСП; L – база сигнала ППРЧ.

Оценим особенности построения сигнальных конструкций на основе ТСК и возможность формирования разных ансамблей реализаций A_j .

В основу построения реализаций ТСК учитывается ширина спектра информационного сигнала ΔF_c , длина базового элемента Δ и временной интервал $T_c = nt_0$, где t_0 – длительность элементарной посылки РЦК; n – количество элементов t_0 . В ТСК расстояние между значащими моментами модуляции (ЗММ) τ_c не меньше интервала Найквиста ($t_0 = 1/\Delta F_c$), но и не кратно ему. Значение $\tau_c = t_0 + \Delta \times l$ ($l \in 0, 1, 2, 3, \dots$) кратно временному отрезку $\Delta = t_0/s$ ($s \in 2, 3, \dots k$). Такое ограничение на расстояние между ЗММ обеспечивает устранение межсимвольных искажений в ТСК. Значение s показывает, насколько меньше Δ по отношению к t_0 . Число переходов i в ТСК может быть различным и меняться в пределах $i = 1, 2, \dots, n-1$.

Выбор значений Δ , s , n и i [3, 4] может быть использовано при решении различных задач помехозащищенности: помехоустойчивости и скрытности передачи.

Вопросы обеспечения передачи информации с помощью ТСК с заданной помехоустойчивостью рассмотрены в [4]. Структурная и информационная скрытность ТСК может быть обеспечена за счет шифрования сообщения таймерными сигналами, при котором задаваемый ансамбль реализаций сигнальных конструкций $A_j^{\text{тск}}$ может меняться во времени.

Например, для формирования различных множеств $A_j^{\text{тск}}$ могут использоваться сигнальные конструкции с постоянным или различным числом переходов. Ансамблю реализаций ТСК с постоянным ЗММ для заданного значения s на интервале n соответствует выражение [2]

$$A_j^{\text{тск}}(i = \text{const}) = \frac{[(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i]]!}{i! \cdot [(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i]] - i!}. \quad (3)$$

Для сигнальных конструкций с разным числом ЗММ

$$A_j^{\text{тск}}(i = \text{var}) = \sum_{i=1}^n \frac{[(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i]]!}{i! \cdot [(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i]] - i!}. \quad (4)$$

Также возможно построение различных множеств $A_j^{\text{тск}}$, которые отличаются числом элементов n построения сигнальных конструкций. Таким образом, варьированием значениями s , n и i можно сформировать исходное количество множеств $A_j^{\text{тск}}$ для передачи конфиденциальной информации [4]. В работах [4, 5] показано, что использование ТСК позволяет добиться существенного увеличения структурной и информационной скрытности, по сравнению с бинарными сигналами.

Анализ построения сигнальных конструкций на основе ТСК показывает целесообразность расширения спектра информационного сигнала за счет использования быстрой ППРЧ. На рис. 1 приведены временные диаграммы, поясняющие алгоритм

передачи ТСК ($x_{\text{тск}}(t)$) с помощью ППРЧ ($f_{\text{ппрч-тск}}(t)$). Так как длительность импульсов таймерных сигналов τ_c кратна элементу Δ , то выбор времени передачи одной частоты может быть организован с учетом равенства

$$t_{\text{пер}} = \Delta. \quad (5)$$

В бинарной системе с ППРЧ длительности всех импульсов одинаковы, поэтому определение ЗММ принимаемых сигналов не представляет особого труда. В ТСК переход из состояния «0» в «1»

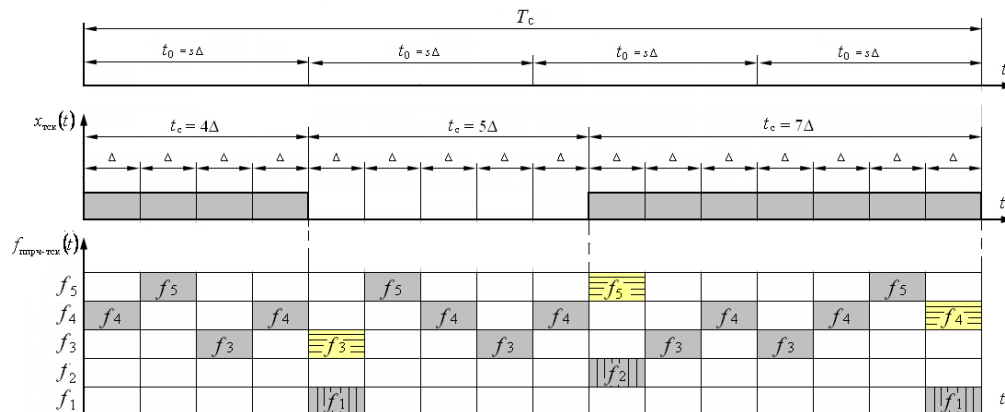


Рис. – Синтез сигнальной конструкции на интервале времени $T_c = nt_0$ при совместно использовании ТСК и ППРЧ

и наоборот зависит от числа Δ в τ_c , поэтому для обозначения перехода ЗММ используются некоторые фиксированные частоты, которые при необходимости также могут меняться от одного сеанса передачи к другому. Например, на рис. такими частотам является f_1 для перехода импульса из состояния «1» в «0» и частота f_2 – для перехода «0» в «1».

Как видно из рисунка ожидаемый на приеме сигнал с частотой f_3 (заштрихованная область), согласно закону изменения частоты в соответствии с псевдослучайным кодом, сменится сигналом с частотой f_1 .

Таким образом, для фиксирования смены полярности фронтов ТСК регистрирующее устройство приемника должно находиться в постоянном ожидании приема сигналов с частотой f_1 и f_2 . Аналогично вместо ожидаемого сигнала с частотой f_3 (заштрихованная область) будет принят сигнал с частотой f_2 , что позволит определить переход импульса таймерной конструкции из состояния «0» в «1».

Выводы

Предложенный метод формирования сигнальных конструкций на основе ППРЧ и ТСК позволит при совместном их использовании объединить достоинства этих сигналов для задачи повышения основных показателей скрытности передачи: энергетической, структурной и информационной. Однако остается открытым вопрос по выбору основных параметров ППРЧ и ТСК для построения сигнальных конструкций с заданными показателями качества.

Список литературы: 1. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В. И. Борисов, В. М. Зинчук, А. Е. Лимарев и др.; под ред. В. М. Борисова. – М.: Радио и связь, 2000. – 384 с. 2. Захарченко, Н. В. Структурная скрытность таймерных сигналов в системах с кодовым разделением каналов / Н. В. Захарченко, В. В. Корчинский, Б. К. Радзимовский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 2/9(50). – С. 7–9. 3. Захарченко Н. В. Оценка информационной скрытности таймерных сигнальных конструкций в системах передачи конфиденциальной информации / Н. В. Захарченко, В. В. Корчинский, Б. К. Радзимовский // Збірник наукових праць ОНАЗ ім.О.С.Попова. – 2011. – № 1. – С. 3–8. 4. Захарченко, Н. В. Метод формирования сигнальных конструкций на основе хаотических и таймерных сигналов в системах передачи конфиденциальной информации / Н. В. Захарченко, В. В. Корчинский, Б. К. Радзимовский // Збірник наукових праць ОНАЗ ім.О.С.Попова. – 2011. – № 2. – С. 3–7. 5. Захарченко, Н. В. Многопользовательский доступ в системах передачи с хаотическими

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 621.391

Повышение скрытности передачи на основе псевдослучайной перестройки рабочей частоты и таймерных сигналов/ В. В. Корчинский // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 63-67. – Бібліогр.: 5назв.

Для завдання підвищення скритності передачі запропоновано метод формування сигнальних конструкцій на основі псевдовипадкової перебудови робочої частоти і таймерних сигналів.

Ключові слова: таймерний сигнал, псевдовипадкова перебудова робочої частоти.

For the problem of increasing secrecy transfer a method of forming the signal designs based on pseudo-random adjustment of the working frequency and timer signals.

Keywords: timed signal pseudorandom restructuring frequency.

УДК 004.942:658.512.4.01

И. Ш. НЕВЛЮДОВ, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ХНУРЭ, Харьков;

В. В. ЕВСЕЕВ, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ, Харьков;

С. С. МИЛЮТИНА, канд. техн. наук, ХНУРЭ, Харьков;

В. О. БОРТНИКОВА, студентка, ХНУРЭ, Харьков

РАЗРАБОТКА ГРАФА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА БАЗЕ ЯЗЫКОВ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В данной статье предложена информационная модель и граф параметрической зависимости для разработки программного обеспечения КИС ТПП на ранней стадии проектирования технического задания.

Ключевые слова: КИС ТПП, техническое задание, САПР, программное обеспечение.

Введение

На данном этапе развития современного производства невозможно обойтись без внедрения прогрессивных технологий в производственный процесс. Современные системы автоматизации всех этапов жизненного цикла изделия невозможно реализовать не используя систем автоматизированного проектирования. Ведущие корпорации, такие как IBM, ORACLE и Siemens PLM Software, занимаются разработкой CAD/CAM/CAE, которые обеспечивают полную автоматизацию конструкторско-технологической документации изделия.

При разработке корпоративных информационных систем технологической подготовки производства (КИС ТПП) возникают трудности, т.к. необходимо на ранней стадии составления технического задания учитывать специфику КИС ТПП, выбрать правильную модель жизненного цикла программного обеспечения (ПО), оценить степень риска, трудоемкость и стоимость проекта во избежание создания некачественных программных продуктов и мертвых проектов.

Вследствие чего разработка современных систем автоматизированного проектирования является важной составляющей любого вида производства, которая достигается путем внедрения КИС ТПП. Таким образом, разработка современных КИС ТПП является актуальной задачей.

Разработка информационной модели КИС ТПП на ранней стадии проектирования технического задания

Представим информационную модель КИС ТПП (Q) на ранней стадии проектирования технического задания в виде набора параметров:

$$Q = \langle T, RZ, SR, YRBD, t, st, tr \rangle, \quad (1)$$

где Q – информационная модель КИС ТПП; T – тип КИС ТПП; RZ – тип решаемой задачи; YRBD – уровень БД; SR – среда разработки; t – время; st – стоимость; tr – трудоёмкость.

Для создания информационной модели для КИС ТПП необходимо для начала проанализировать и скомпоновать все необходимые виды КИС ТПП. Таким образом, необходимо разделить КИС ТПП по группам: одномодульные; многомодульные; единый графический интерфейс.

$$T = \langle OD, MM, EGI \rangle \quad (2)$$

Пусть одномодульная задача будет обозначаться как – OD, многомодульная – MM, а единый графический интерфейс как EGI.

OD – одномодульные КИС ТПП представляют собой 1 модуль, реализованный на языке высокого уровня с возможностью интеграций в существующую систему КИС ТП с помощью API (application programming interface) и реализующий однозадачные, локальные функции в рамках решения одной конкретной задачи. Одномодульные КИС ТПП представляют собой набор классов, функций и констант.

MM – многомодульные КИС ТПП представляют собой 2-5 модулей, разработаны на базе языков высокого уровня программирования с возможностью поддержки передачи информации между модулями, а также реализовано взаимодействие с существующей системой с помощью API- функций.

EGI – единый графический интерфейс является единой разработанной системой, включающей в себя все предыдущие типы и являющиеся целостной системой, реализующей ряд поставленных функций и задач, работая как единая система.

По типу решения задач КИС ТПП разделяются на: частный случай; графическое моделирование; построение технологического процесса (ТП); документооборот.

$$Rz = \langle Ch, Graf, Pt, doc \rangle \quad (3)$$

Пусть частный случай обозначается как – Ch, графическая модель – Graf, построение ТП – Pt, а документооборот как – doc .

Ch – частными случаями КИС ТПП являются так называемые САЕ программы (Computer Aided Engineering). К САЕ программам и программным пакетам относятся расчеты, анализ, симуляция. Расчётная часть пакетов чаще всего основана на численных методах решения дифференциальных уравнений. САЕ являются разнообразными программными продуктами, позволяющие при помощи расчётных методов оценить, как поведёт себя компьютерная модель изделия в реальных условиях эксплуатации. Помогают убедиться в работоспособности изделия, без привлечения больших затрат времени и средств.

Graf – графическое моделирование относится к CAD (Computer Aided Design). Графическое моделирование представляет собой средство автоматизированного проектирования, плоское и геометрическое моделирование. Создание 2D, 3D объектов, расчет и анализ полученных объектов. Таким образом, получаем макет нашей разработки.

Pt – построение ТП представляет собой разработку технологических процессов, технологической оснастки, обеспечивая автоматизацию программирования и управления оборудованием. Сюда входит разработка технологической документации (маршрутной,

операционной), доводимой до рабочих мест, конкретное описание в виде управляющих программ.

doc – документооборот это полный набор документации с момента их создания сопровождающей КИС ТПП от начала разработки, графического моделирования, построения ТП, до завершения исполнения или отдачи заказчику.

По выбору средств разработки: языки высокого уровня программирования; языки низкого программирования; смешанные типы языков.

$$SR = \langle vl, nl, vnl \rangle \quad (4)$$

Пусть язык высокого уровня обозначается – vl, низкого уровня – nl, смешанный тип языка – vnl.

vl – язык высокого уровня программирования. К языкам высокого уровня программирования относятся такие языки как C, C++, Python, PureBasic и т.д. Эти языки предназначены для быстроты и удобства использования программистом. Основная черта высокоуровневых языков – введение смысловых конструкций, кратко описывающих такие структуры данных и операции над ними, описания которых на машинном коде (или другом низкоуровневом языке программирования) очень длинны и сложны для понимания.

nl – язык низкого уровня программирования. К низкоуровневым языкам программирования относится Assembler, ProLog, CIL и т.д. вплоть до введения программ процессору на машинном коде. Эти языки программирования близки к программированию непосредственно в машинных кодах используемого реального или виртуального процессора. Для обозначения машинных команд обычно применяется мнемоническое обозначение. Часто эти языки позволяют работать вместо конкретных ячеек памяти с переменными.

vnl – смешанный тип языка. Смешанные типы языков представляют собой группу языков, где возможно использовать в одном языке другой. Например, в C есть возможность вызывать функцию, в которой команды реализованы на Assembler.

По типу баз данных разделяют: БД уровня отделения; БД уровня предприятия; БД уровня корпорации; интегрирование в существующую БД.

$$YRBD = \langle obd, hbd, kbd, intbd \rangle \quad (5)$$

Пусть тип БД на уровне отдела обозначается – obd, БД уровня предприятия – hbd, БД уровня корпорации – kbd, БД интегрируема в существующую БД – intbd.

obd – БД уровня отделений отвечает за локальную базу данных относящуюся непосредственно к конкретному отделу. Например, существует отдельная БД для отдела маркетинга, отдела разработки, отдела проектирования и т.д. Данный тип БД реализован конкретно под специфику данного отдела и учитывает все необходимые нюансы.

obd – БД уровня предприятия это группа баз данных включающая в себя все БД отделов, цехов и т.д. Данная БД имеет большой объем данных, множество серверов. Ее объем и реализация зависит от размера предприятия, его специфик, времени использования, типа доступа. Обычно для каждого предприятия БД пишется индивидуально.

kbd – БД уровня корпорации охватывает ряд БД уровня предприятий и представляет собой единую объединяющую сеть БД. Для реализации такой масштабной БД необходимо учитывать объем документооборота, количество пользователей, количество предприятий. Главным преимуществом является то, что из любого предприятия возможно обращения к необходимому документу БД без затруднений, что увеличивает производительность и затрату времени. БД уровня корпорации является автоматизированной системой документа оборота и данных огромного масштаба.

intbd – БД, интегрированные в существующие, являются уникальными БД, которые возможно внедрить в любую существующую систему без каких-либо изменений, через существующие программы конвертаций или через администраторскую часть КИС ТПП.

t – время, необходимое для проектирования КИС ТПП. Оно зависит от заказчика, сложности разработки, количества задействованных разработчиков, профессионализма и понимания поставленной задачи заказчиком, необходимость отладки и корректирования.

st – стоимость, зависит от выбора языка программирования, выбора БД, СУБД, профессионализма, времени затраченном на разработку, отладку и получения готового проекта;

tr – трудоёмкость, зависит от времени и человеческого фактора, измеряется в человек/часах;

Таким образом, исходя из заданных параметров, возможно, представить структурную схему информационной модели разработки КИС ТПП на ранней стадии проектирования технического задания. Структурная схема представлена на рис. 1.



Рис. 1 – Структурная схема информационной модели КИС ТПП

Из предложенной структурной схемы информационной модели разработки КИС ТПП можно заметить, что основным фактором, влияющем на выбор параметров, необходимых для разработки технического задания на ранней стадий проектирования КИС ТПП, является правильный выбор типа решаемой задачи Rz, и поставленного заказчиком в начальном этапе проектирования времени разработки t, и уровень сложности проекта (который зависит от сложности программного кода и уровня внедрения БД- YRBD).

Разработка графа параметрической зависимости для КИС ТПП на базе языков высокого уровня программирования

Исходя из предложенной структурной схемы (рис. 1), на данном этапе необходимо сделать основной акцент на разработке зависимости параметров стоимости, трудоёмкости и среды разработки программного продукта от выбора языка программирования.

Для составления параметрической связи необходимо более подробно расписать данные параметры, содержащие в себе более укрупненные значения. Необходимо определить важные факторы и их принадлежность, а также сформулировать зависимость в виде графа.

Рассмотрим параметры, от которых зависит язык высоко уровня программирования. Языки низкого и смешанного типа не будут рассмотрены в данной работе (они не используются для разработки КИС ТПП).

Пусть Lisp будет параметрическая модель стандартного языка программирования, тогда она будет выглядеть таким образом:

$$Lisp = \langle KI, Svi, Fun, Proc, \theta \rangle, \quad (6)$$

где KI – класс; Svi – свои элементы языка; Fun – функции; $Proc$ – процедуры; θ – количество строк (сложность кода).

Класс KI будет содержать в себе сумму универсальных классов и классов, написанных разработчиком:

$$KI = KI' + KI_y, \quad (7)$$

где KI' – класс, написанный разработчиком; KI_y – универсальный класс, написанный ранние и находящийся в одной из библиотек.

Примем стандартные набор универсальных библиотек как Bib_y . Этот набор будет содержать такие же параметры, как и библиотека, разработанная программистом. Отличительная черта заключается в том, что это набор стандартных или ранее разработанных библиотек, классов, функций. Эти библиотеки возможно внедрять и в другие языки. Например, если библиотека написана на C++, она может быть использована в Object Pascal. Параметрическая модель универсальных библиотек представлена на формуле (8).

$$Bib_y = KI_y \cup Fun_y \cup Proc_y, \quad (8)$$

где KI_y – универсальный класс, написанный ранние и находящийся в одной из библиотек; Fun_y – универсальная функция; $Proc_y$ – универсальная процедура.

Обозначим специфическую библиотеку, написанную разработчиком как Bib' , при чем классы, функции и процедуры принадлежат библиотекам.

Также, возможно написать собственную библиотеку, в которой будут классы, функции и процедуры. В данном исследовании определим параметр Bib' как возможность использовать в разработке модулей КИС ТПП не стандартные библиотека, а специфические, которые написаны разработчиком для решения определенных задач. В следствии чего, параметр Bib можно представить в виде набора параметров, которые представлен в формуле (9).

$$Bib' = KI' \cup Fun' \cup Proc', \quad (9)$$

где KI' – класс, написанный разработчиком; Fun' – функция, которую написал разработчик; $Proc'$ – процедура, написанная разработчиком.

Написанные элементы, обозначенные как Svi , являются объединением функций и процедур:

$$Svi = Fun' \cup Proc'. \quad (10)$$

Исходя из формулы (10) можем представить Bib' как объединение классов и своих элементов:

$$Bib' = KI' \cup Svi. \quad (11)$$

Следовательно, можно представить параметрическую модель расчета количества строк θ в виде суммы:

$$\theta = \sum_{i=1}^{\infty} (Bib'_i + Bib_{yi} + Zero_i + Kom_i + K\epsilon_i), \quad (12)$$

где Bib'_i – количество использованных специфических библиотек, написанных разработчиком; Bib_{yi} – универсальные библиотеки используемые разработчиком; $Zero_i$ – количество пустых строк; Kom_i – строки, которые заняты комментариями; $K\epsilon_i$ – коэффициент длины кода.

Из проведенного анализа и предложенных формул можно сделать вывод, что количество строк зависит от таких параметров как сумма количества использованных

универсальных библиотек и библиотек, написанных программистом. Необходимо учитывать, что программа может содержать пустые строки, комментарии, а также коэффициент длины кода, зависящий от языка программирования. Коэффициент длины кода необходим для того, чтобы усреднить длину кода, т.к. написанная одна и та же функция на разных языках программирования может занимать различное количество строк, также это зависит от профессионализма программиста.

Время разработки рассчитывается как произведение размера исходного кода на временную производительность.

Следовательно, можно определить, $t_{\text{проект}} = t_{\text{разр}} + t_{\text{проект}} + t_{\text{тест}} + t_{\text{докум}} + t_{\text{интегр}} + t_{\text{демон}} + t_{\text{эксплуат}} + t_{\text{обслужив}} + t_{\text{ремонт}} + t_{\text{замена}} + t_{\text{утилизация}}$ программирования что время разработки t зависит от количества строк θ , среды разработки SR и коэффициент учитывающий уровень программиста $K_{\text{уч.ур.прог.}}$. Тогда, время необходимое для проектирования КИС ТПП будет рассчитываться так:

$$t = \theta^* (SR^* K_{\text{уч.гр.прог}}). \quad (13)$$

Как известно трудоемкость измеряет количество времени, затрачиваемое на единицу продукции. Трудоемкость tr можно рассчитать как t время необходимое для проектирования КИС ТПП деленное на P плотность кода. Плотность кода будет рассчитываться по формуле (14):

$$P = K_{\exists i}(\text{Lisp}-(\text{Zero}_i + \text{Kom}_i)). \quad (14)$$

Тогда параметрическая модель для расчета трудоемкости будет иметь вид:

$$\text{tr} = t/P. \quad (15)$$

Исходя из проведенного исследования параметрическую модель можно представить в виде графа параметрической зависимости для КИС ТПП на базе языков высокого уровня программирования для более наглядного вида (рис. 2).

Выводы

В ходе научно-исследовательской работы достигнуты такие результаты:

- разработана информационная и параметрическая модель расчета трудоемкости для КИС ТПП на базе языков высокого уровня программирования;

- составлена параметрическая зависимость основных параметров стоимости, трудоемкости и среды разработки программного продукта от выбора языка программирования;

—предложенные формулы показывают, что количество строк зависит от таких параметров как сумма количества использованных универсальных библиотек и библиотек, написанных программистом;

- разработана информационная модель расчета времени разработки и трудоемкости на базе выбора языка высокого уровня программирования.

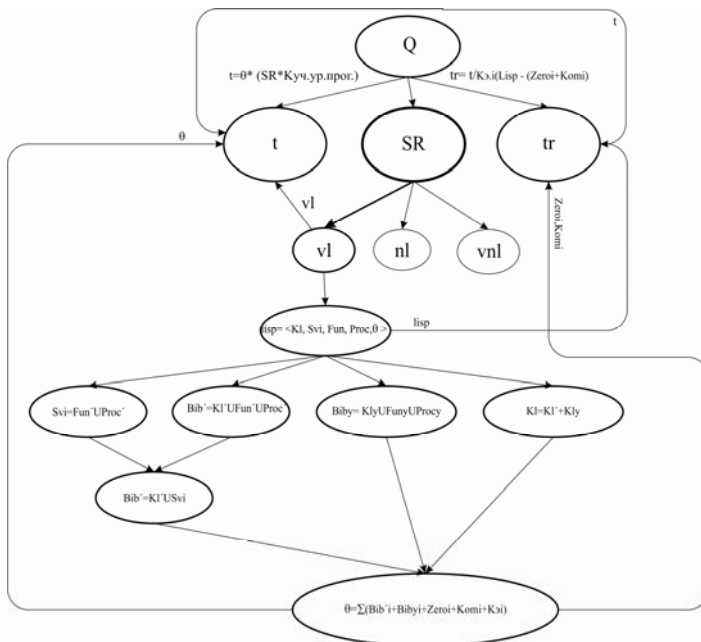


Рис. 2 – Граф зависимости параметров для КИС ТПП на базе языков высокого уровня программирования

ХНУРЕ, 2012. 2. Невлюдов И. Ш. Модели жизненного цикла программного обеспечения при разработке корпоративных информационных систем технологической подготовки производства / И. Ш. Невлюдов, В. В. Евсеев, В. О. Бортникова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» - 2011.-№2.- 94с. 3. Бортникова В. О. Анализ международного стандарта ISO/IEC 12207:1995 «Information technology – software lifecycle processes» для разработки технического задания при проектировании корпоративно-информационных систем технологической подготовки производства// Перша Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні проблеми створення електронних засобів промислових автоматизованих систем»: матеріали Першої Всеукр. Наук-практ. Конф., м.Сєверодонецьк., 2011. – 18-21 с. 4. Анализ программных метрик при проектировании информационно-компьютерных систем технологии производства // 15 міжнародний молодіжний форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» - Харків: ХНУРЕ. 2011. - 527 с. 5. Невлюдов И. Ш. Анализ применимости математических моделей СОСОМО при разработке современных корпоративно - информационных систем технологической подготовки производства / И. Ш. Невлюдов, В. В. Евсеев, В. О. Бортникова // Кременчуг: КНУ им. М. Остроградского, 2011. 6. Невлюдов И. Ш. Информационная модель автоматизированной системы проектирования корпоративно-информационных систем технологической подготовки производства на ранней стадии разработки технического задания / И. Ш. Невлюдов, В. В. Евсеев, В. О. Бортникова // Перша Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні проблеми створення електронних засобів промислових автоматизованих систем»: матеріали Першої Всеукр. Наук-практ. Конф., м.Сєверодонецьк., 2011. – 76-79 с.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 004.942:658.512.4.01

Разработка графа параметрической зависимости для корпоративных информационных систем технологической подготовки производства на базе языков высокого уровня программирования / И. Ш. Невлюдов, В. В. Евсеев, С. С. Милутина, В. О. Бортникова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 67-73. – Бібліогр.:6 назв.

У даній статті запропоновано інформаційну модель і граф параметричної залежності для розробки програмного забезпечення КІС ТПП на ранній стадії проектування технічного завдання.

Ключові слова: КІС ТПП, технічне завдання, САПР, програмне забезпечення.

In this article the information model and parametric dependence graph for software CIS TPP early in the design specification are prosed.

Keywords: CIS TPP, technical specifications, CAD, software.

УДК 687.1: 658.56

В. В. ЗАЛКІНД, канд. техн. наук, доц., УПА, Харків;

О. І. КОСЕНКО, ст. викл., УПА, Харків

АНАЛІЗ ЕСТЕТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ ПРОСТОРІ

Проаналізований сучасний ринок інтернет – торгівлі тканинами . Запропонований спосіб аналізу естетичних властивостей текстильних матеріалів в інформаційному просторі.

Ключові слова: текстильні матеріали, естетичні властивості, інтернет – торгівля.

Вступ

Високий рівень конкуренції в галузі легкої промисловості висуває підвищені вимоги до естетичних властивостей текстильних матеріалів. Саме від них, значною мірою,

© В. В. ЗАЛКІНД, О. І. КОСЕНКО, 2012

залежить кінцевий результат - сприйняття споживачем швейного виробу. Крім того, тканина виступає джерелом натхнення для дизайнерів, “як елемент подальшої дизайн – розробки” [1].

Сучасні наукові дослідження свідчать про можливість використання інформаційних технологій практично на всіх етапах проектних робіт, включаючи оцінку естетичних властивостей тканин. Практичним підтвердженням чого служать різноманітні інтернет – магазини, які пропонують тканини. Але, на сьогодні не існує рекомендацій по створенню каталогів тканин при такій торгівлі, як не існує єдиного прийнятного визначення естетичних властивостей текстильних матеріалів, які відповідають реаліям сучасного інформаційного простору.

Постановка завдання

Усе різноманіття властивостей тканин підрозділяється на де-кілько груп. Згідно з [2] виділяють геометричні, механічні, технологічні, фізичні та оптичні. Дещо іншу класифікацію пропонують джерела [3, 4]: геометричні, механічні, фізичні, формотворча здібність. Сучасні автори враховують також зносостійкість текстильних матеріалів [3]. Особливість даних класифікацій полягає в тому, що оптичні властивості є складовими фізичних та характеризуються, як здатність викликати у людини відчуття кольору, блиску, білизни та прозорості. В той час сучасні фахівці в галузі дизайну одягу враховують також і таку характеристику матеріалу, як туше (тактильне відчуття)[5]. Значення оптичних властивостей матеріалу для естетичного сприйняття швейного виробу давно підкреслювалось спеціалістами з матеріалознавства [4], а сучасні джерела навіть відокремили ці властивості. Так “естетичні властивості матеріалів – це пластика, фактура, текстура, колір і малюнок на поверхні матеріалу... До властивостей оптичних текстильних матеріалів відносять: колір, блиск, білизну, прозорість, різновідтінковість” [6].

Тому, виникає необхідність в визначенні естетичних властивостей текстильних матеріалів в умовах сьогодення, а саме - активного розвитку інформаційних технологій та інтернет - торгівлі. До речі, це один з найбільш перспективних сегментів ринку, об'єми продажу в якому зростають з кожним роком, що тільки підкреслює актуальність питання.

Результати досліджень

Аналіз сучасного ринку інтернет – магазинів показав, що при торгівлі тканиною існує декілько видів представлення товару та відповідно подальшої оцінки естетичних властивостей. Деякі інтернет - магазини [7] пропонують каталоги тканин, в яких представлений артикул, ціна та колір (рис.1). Інші інтернет-магазини [8] намагаються надати споживачеві уявлення про



Рис. 1 – Каталог тканин інтернет - магазину “Тиссура”

здатність тканин до формоутворення (рис.2). Іноді [9], в якості ілюстрації властивостей тканин, використовують фотографії одягу, відшитого з представленої. Слід зазначити, що жоден з цих магазинів не дає споживачеві можливість оцінити малюнок на поверхні матеріалу, а саме його розмір. До речі колір, запропонованих у віртуальному просторі тканин, також не завжди відповідає дійсності. В даному випадку колір буде залежати від умов зйомки, налаштування фотоапарата та монітора комп'ютеру.

Вирішення цієї проблеми полягає в використанні зразку білого кольору при фотографуванні текстильних матеріалів для визначення балансу білого при подальшій комп'ютерній обробці [10]. А вдосконалення цього способу надасть змогу оцінити розміри малюнку на поверхні матеріалу тканини (рис.3).

Задача вирішується таким чином: для кількісної оцінки розміру малюнка на поверхні текстильного матеріалу фотографують зразок текстильного матеріалу з відповідним еталоном.

Шляхом порівняння з яким визначаються кількісні характеристики елементів малюнка : $L = \frac{b}{a} \times 100$,

де L - реальний розмір малюнка; a - розмір еталону на фотографічному зображенні;

b - розмір елементів малюнка на фотографічному зображенні.

В якості приклада розглянемо рис.4, на якому зображено зразок текстильного матеріалу з еталоном, а саме квадрат паперу білого кольору розміром 10×10 см., що дозволяє відмовитись від розташування фотографованих зразків на білому фоні (з метою визначення оптичних характеристик). В такому випадку реальний розмір малюнка, а саме клітин склав 1,4×1,6 см.

Висновки

Застосування розробленого способу дозволяє повністю оцінити малюнок на поверхні текстильного матеріалу за допомогою інформаційних технологій, що дозволить підвищити конкурентоздатність інтернет-магазинів тканин, по зрівнянню з класичними магазинами.

Список літератури: 1. Єременко І.І. Джерело натхнення в дизайні одягу: аспекти вивчення і використання в творчому процесі [Текст] / І.І. Єременко // Вісник ХДАДМ. -2007, №9. –С. 41-48. 2. Баженов В. И. Материалы для швейных изделий: Учебник для сред. спец. учеб. заведений [Текст]/ В. И. Баженов. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. - 312 с. 3. Савостицкий Н. А. Материаловедение швейного производства [Текст]: учеб. пособие для сред. проф. образования / Н. А. Савостицкий, Э. К. Амирова –М.: Издательский центр “Академия”, 2002. – 240 с. 4. Бузов Б. А. Материаловедение швейного производства [Текст]/ Б. А. Бузов, Т. А. Модестова, Н. Д. Алыменкова. – 4-е изд., перераб. и доп. –М.: Легпромбытиздат, 1986.-424 с. 5. Кісіль М. Пластична виразність матеріалу в процесі формоутворення одягу [Текст] / М. Кісіль // Традиції та новації у вищій архітектурно – художній освіті. – 2009. - Випуск 1, № 2. – С. 159 – 160. 6. Енциклопедія швейного виробництва [Текст]: навчальний посібник – К.: “Самміт - книга”, 2010. – 968 с.: 7. Тиссура [Електронний ресурс] / shop.tissura.ru / - режим доступу: \www/ URL: <http://shop.tissura.ru/Netshop/drap/> - 28.07.2012 р. – Загл. з екрану 8. Магазин тканей Мастерца

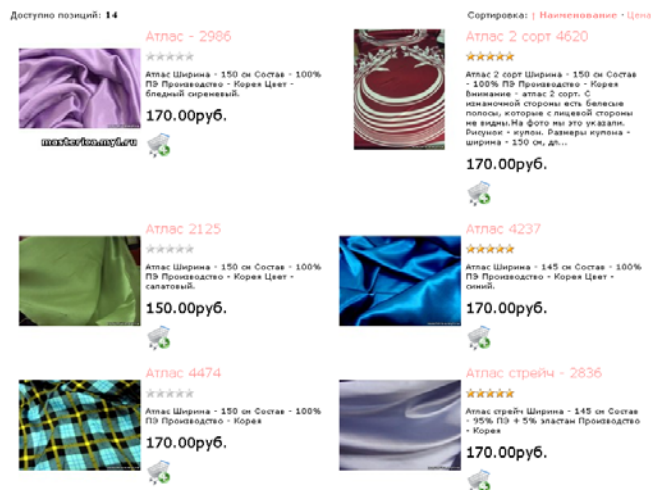


Рис. 2 – Каталог тканей интернет – магазина “Мастерица”

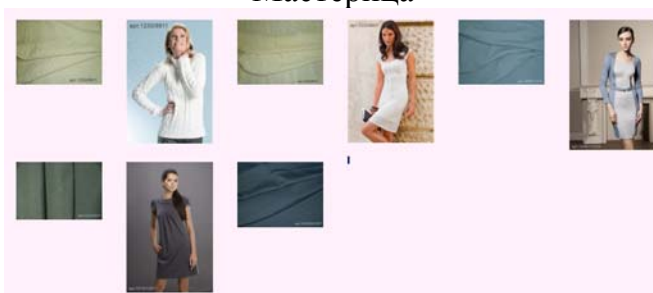


Рис. 3 – Каталог тканей интернет - магазина “Аван – Стиль”

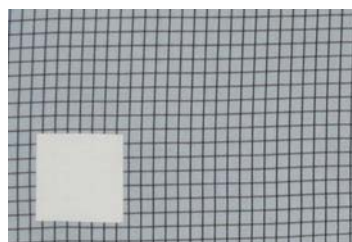


Рис. 4 –Зразок текстильного матеріалу з еталоном

[Електронний ресурс] / masterica.myl.ru/ - режим доступу: \www/ URL: <http://masterica.myl.ru/shop/tkani/atlas/> - 28.07.2012 р. – Загл. з екрану 9. Аван - Стиль [Електронний ресурс] / avan-style.ru/photo_gallery/ - режим доступу: \www/ URL: http://www.avan-style.ru/photo_gallery/ - 28.07.2012 р. – Загл. з екрану 10. Залкінд В. В., Косенко О. І. Визначення характеристик оптичних властивостей текстильних матеріалів за допомогою інформаційних технологій [Текст] / В. В. Залкінд, О. І. Косенко // Вісник національного технічного університету «ХПІ» №34, 2012. -С.62-65

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 687.1: 658.56

Аналіз естетичних властивостей текстильних матеріалів в інформаційному просторі/ В. В. Залкінд, О. І. Косенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 73-76. – Бібліогр.: 10 назв.

Проанализирован современный рынок интернет - торговли тканями. Предложен способ анализа эстетических свойств текстильных материалов в информационном пространстве.

Ключевые слова: текстильные материалы, эстетические свойства, интернет – торговля.

At the current market online - trade fabrics. Provides a method for the analysis of aesthetic properties of textile materials in cyberspace.

Keywords: textile materials, aesthetics, online - trading.

УДК 656.6

М. В. ДВОРЕЦКИЙ, студент, Керченского государственного морского технологического университета;

Н. В. ИВАНОВСКИЙ, канд. техн. наук, доц., Керченского государственного морского технологического университета

ПРОГРАММНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ЦИРКУЛЯЦИИ МОРСКОГО СУДНА

В работе предложен вариант реализации классической модели движения судна на циркуляции. Практическая ценность работы - программный тренажер для изучения процесса циркуляции морского судна. Приведено подробное описание его построения, а также много графического материала результатов имитационного моделирования.

Ключевые слова: тренажер, циркуляция, математическое моделирование.

Введение. Постановка проблемы в общем виде

На сегодняшний день имеется множество программно – аппаратных комплексов тренажерной подготовки судоводителей. Стоимость которых исчисляется в сотнях тысяч долларов. Данные тренажеры охватывают весь спектр морских операций с которыми приходится сталкиваться судоводителю. Безусловно, выработка практического навыка по управлению судном на этих тренажерах имеет высокую эффективность. С другой стороны, перед тем как зайти на виртуальный или тем более, на реальный ходовой мостик будущий судоводитель должен иметь хорошую теоретическую подготовку. И в этом ему помогут узкоспециализированные программные тренажеры, которые можно установить на свой персональный компьютер и в любое время исследовать интересующий процесс и как следствие, повысить свой теоретический или практический уровень подготовки. В качестве примера таких тренажеров могут быть имитаторы работы различного рода технических средств судовождения (гирокомпаса, магнитного компаса, эхолота, РЛС, СНС и т.д.), программные тренажеры по отработке понятий связанных с навигацией, управлением судном, устройством судна и т.д. Исследование свойств морского судна (далее просто судно) как управляемой системы, возможно либо путем расчета тех или иных движений (характерных маневров) судна, либо путем

© М. В. ДВОРЕЦКИЙ, Н. В. ИВАНОВСКИЙ, 2012

моделирования характерных маневров, осуществляемых на его физической или математической модели. Наибольший интерес представляет процесс математического моделирования динамики движения судна, так как он обладает главным преимуществом, а именно - средой моделирования. Обычно средой математического моделирования является вычислительная система. Производительность современных персональных компьютеров позволяет в реальном режиме времени рассчитать параметры движения математической модели (ММ) судна. Достоверность полученных результатов будет определяться степенью адекватности ММ реальным процессам движения моделируемого объекта.

Для обеспечения процесса управления перед выполнением морских операций необходимо знать плановую траекторию, построенную с учетом размеров акватории для маневрирования и динамических параметров судна. Одним из самых сложных, с точки зрения моделирования (планирования), является участок циркуляции судна – процесс движения судна при перекладке руля из нулевого положения на некоторый угол и удержания его в этом положении [1]. Термином «циркуляция» обозначается не только указанный процесс, но и соответствующая ему траектория движения судна.

Различают три периода циркуляции: маневренный, эволюционный и установившейся. Маневренный период по времени совпадает с продолжительностью перекладки руля. Эволюционный период начинается с момента окончания перекладки руля и заканчивается, когда элементы движения судна перестанут изменяться во времени.

Установившейся период начинается с момента окончания второго периода и длится все время, пока руль находится в переложном положении. Движение судна в третьем периоде принято называть установившейся циркуляцией [1]. В первых двух периодах циркуляция судна представляет собой кривую переменной кривизны, в установившемся периоде – окружность. Форма циркуляции судна показана на рис.1. Началом циркуляции является точка на линии первоначального курса, совпадающая с центром тяжести судна в момент начала перекладки руля. Для количественной характеристики циркуляции используются следующие величины: диаметр установившейся циркуляции D_C ; тактический диаметр циркуляции D_T - расстояние между ДП судна в начале поворота и ее положением после изменения первоначального курса судна на 180° ; выдвиг l_1 - расстояние, на которое смещается центр тяжести судна в направлении первоначального курса от точки начала циркуляции до точки, с которой совпадает центр тяжести в момент изменения курса на 90° ; прямое смещение l_2 - кратчайшее расстояние от линии первоначального курса судна до точки, с которой совпадает центр тяжести в момент изменения курса на 90° ; обратное смещение l_3 - расстояние между линией первоначального курса и параллельной ей касательной к траектории движения в начальные периоды поворота, т.е. смещение центра тяжести в сторону, обратную направлению поворота.

Параметры циркуляции зависят множество факторов. Учет всех факторов практически невозможен. Поэтому важно получить навык в определении зависимости основных параметров циркуляции конкретного судна от управляющих воздействий (угол перекладки руля, линейная скорость судна), а также внешних возмущений (скорость и направление течения, ветра).

Анализ последних достижений и публикаций

На данный момент времени имеется большое количество работ по построению математической модели динамики движения судна. Их сравнительный анализ приведен

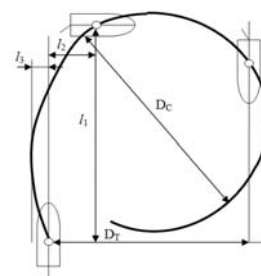


Рис. 1 - Циркуляция судна

в работе [2]. Но основой практически всех моделей является базовая модель, приведенная в работе [1].

Что касается программных тренажеров моделирующих процесс циркуляции, то эта проблема на данный момент в научных публикациях не рассматривалась. Как было замечено ранее, эта операция рассматривается в комплексных тренажерах по управлению судном.

Постановка задачи

Необходимо разработать программный тренажер для изучения параметров циркуляции судна. Для этого в качестве среды моделирования используем математический пакет MathCad. Данный пакет использует технологию листа, т.е. набор формул производится в привычной нам форме (как мы обычно их записываем). Это позволит сделать алгоритм вычислений открытым.

Изложение материала исследования

Уравнения движения судна, на свободном ходу, полученные в работе [1] имеют вид:

$$\begin{aligned} m \cdot (1 + k_{11}) \cdot \frac{dv}{dt} - m \cdot (1 + k_{11}) \cdot v \cdot \beta \cdot \frac{d\beta}{dt} + m \cdot (1 + k_{22}) \cdot v \cdot \omega \cdot \beta &= P - X_K - X_P \\ - m \cdot (1 + k_{22}) \cdot \beta \cdot \frac{dv}{dt} - m \cdot (1 + k_{22}) \cdot v \cdot \frac{d\beta}{dt} + m \cdot (1 + k_{11}) \cdot v \cdot \omega &= Y_K + Y_B - Y_P \\ I_z \cdot (1 + k_{66}) \cdot \frac{d\omega}{dt} - m \cdot (k_{22} - k_{11}) \cdot v^2 \cdot \beta &= M_K + M_P - M_B \end{aligned} \quad (1)$$

где k_{11} , k_{22} , k_{66} - коэффициенты присоединенных масс и присоединенного момента инерции; β - угол дрейфа; ω - угловая скорость; v - поступательная скорость; X_K , Y_K , M_K - продольная, поперечная составляющие сил вихревой природы и момент рыскания; X_P , Y_P , M_P - продольная, поперечная силы на руле и момент, создаваемый поперечной силой руля относительно центра тяжести судна; Y_B , M_B - поперечная сила, возникающая на работающем гребном винте и момент создаваемый поперечной силой; P - упор, создаваемый гребными винтами.

Как ранее было замечено модель (1) является базовой, но ее главный недостаток – это большое количество параметров, которые определяются на основе натурных экспериментов. В тех случаях, когда гидродинамические характеристики определяются расчетным путем с использованием номограмм и теоретических зависимостей, остается, как правило, неясным вопрос о погрешности, с которой вычисляются коэффициенты уравнений.

Поэтому на данный момент времени для ММ, используются упрощенные модели, имеющие небольшое число параметров. Идентификация этих параметров производится на основе натурных испытаний конкретного судна.

Так, например, XIV Международной конференцией опытовых бассейнов наряду с полными ММ, описывающими движения судна, рекомендовано в задачах управляемости использовать уравнение вида :

$$T_1 T_2 \frac{d^2 \omega}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{d\omega}{dt} + \omega + H(\omega) = K \delta_R + K T_3 \frac{d\delta_R}{dt}, \quad (2)$$

коэффициенты которого определяются по данным натурных или модельных испытаний.

Уравнение (2) может быть получено из системы уравнений вида:

$$\begin{cases} \frac{d\beta}{dt} + q_{21}\beta + r_{21}\omega - \frac{q}{q_{31}}H(\omega) + s_{21}\delta_R = 0 \\ \frac{d\omega}{dt} + q_{31}\beta + r_{31}\omega + s_{31}\delta_R = 0 \end{cases} \quad (3)$$

причем $T_1 T_2 = 1/q$; $T_1 + T_2 = 2p/q$; $K = s/q$; $KT_3 = -s_{31}/q$; $q = q_{21}r_{31} - q_{31}r_{21}$;
 $s = q_{31}s_{21} - q_{21}s_{31}$; $2p = r_{31} + q_{21}$.

Часто функцию $H(\omega)$ представляют кубической параболой:

$$H(\omega) = v_1 |\omega| \omega + v_2 \omega^3. \quad (4)$$

Если судно не обладает устойчивостью прямолинейного движения ($q < 0$), то $T_1 < 0$; $T_2 > 0$; $K < 0$; $v_1 < 0$; $T_3 > 0$; если обладает такой устойчивостью ($q > 0$), то $T_1 > 0$; $T_2 > 0$; $K > 0$; $v_1 > 0$; $T_3 > 0$. Знак v_2 зависит не только от устойчивости судна, но и от вида диаграммы управляемости при больших δ_R .

Для построения математической модели движения судна на циркуляции нам необходимо знать следующие параметры (рис.2):

χ - курс судна; β - дрейф судна; V - скорость судна. Примем следующее допущения $V = \text{const}$. Падение скорости на циркуляции можно определить, к примеру, используя формулу Г.Е. Павленко [1].

Курс судна и дрейф определим из (3) при этом учитывая, что $\omega = \frac{d\chi}{dt}$.

Тогда система (3) примет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{d\beta}{dt} + q_{21}\beta + r_{21} \frac{d\chi}{dt} - \frac{q}{q_{31}} H\left(\frac{d\chi}{dt}\right) + s_{21}\delta_R = 0 \\ \frac{d^2\chi}{dt^2} + q_{31}\beta + r_{31} \frac{d\chi}{dt} + s_{31}\delta_R = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Аналогично изменим выражение (4):

$$H(\omega) = v_1 \left| \frac{d\chi}{dt} \right| \frac{d\chi}{dt} + v_2 \left(\frac{d\chi}{dt} \right)^3 \quad (6)$$

Подставив (6) в (5) получим:

$$\begin{cases} \frac{d\beta}{dt} + q_{21}\beta + r_{21} \frac{d\chi}{dt} - \frac{q}{q_{31}} \left(v_1 \left| \frac{d\chi}{dt} \right| \frac{d\chi}{dt} + v_2 \left(\frac{d\chi}{dt} \right)^3 \right) + s_{21}\delta_R = 0 \\ \frac{d^2\chi}{dt^2} + q_{31}\beta + r_{31} \frac{d\chi}{dt} + s_{31}\delta_R = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Для определения параметров системы (7) используем (2), где параметры T_1 , T_2 , T_3 и K определяются из натурных испытаний конкретного судна. Методика определения этих параметров изложена в [1]. После определения T_1 , T_2 , T_3 и K и решения нелинейной системы (8) найдем неизвестные параметры системы (7).

$$q = \frac{1}{T_1 T_2}, \quad 2p = \frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2}, \quad \frac{s}{q} = K, \quad s_{31} = -\frac{KT_3}{T_1 T_2}, \quad q = q_{21}r_{31} - q_{31}r_{21}, \quad s = q_{31}s_{21} - q_{21}s_{31}, \quad 2p = r_{31} + q_{21} \quad (8)$$

В системе (7) функция δ_R имеет следующий вид:

$$\delta_R(t) = \begin{cases} \frac{\delta_{Rs}}{|\delta_{Rs}|} \cdot \frac{35}{\tau} \cdot \frac{\pi}{180} \cdot t, & t < \frac{\delta_{Rs}\tau}{35} \\ \delta_{Rs} \cdot \frac{\pi}{180}, & t \geq \frac{\delta_{Rs}\tau}{35} \end{cases} \quad (9)$$

где δ_{Rs} - заданный угол перекладки руля, τ - задержка перекладки руля из диаметральной плоскости на максимальный угол (нами принят угол $\delta_{Rs} = 35^\circ$).

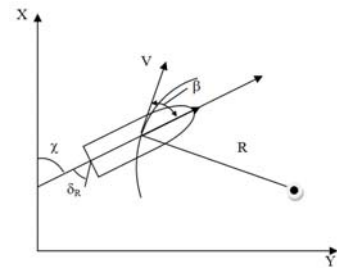


Рис. 2. Расчетная схема модели неустойчившегося движения судна

Решая систему (7) численно, методом Рунге-Кутты, получим искомое решение в дискретной форме. Размерность векторов $\bar{t}$, $\bar{\chi}$ и $\bar{\beta}$, определяется числом разбиений n участка интегрирования.

После полученного решения системы (7), получим кинематические уравнения движения судна на плоскости:

$$\begin{cases} y_i = y_{i-1} + V \cos(\chi_{i-1} - \beta_{i-1}) \cdot \Delta t, \\ x_i = x_{i-1} + V \sin(\chi_{i-1} - \beta_{i-1}) \cdot \Delta t \end{cases}, \quad (10)$$

где $\Delta t = T/n$.

С учетом внешних факторов, к примеру, течения система (10) примет следующий вид:

$$\begin{cases} y_i = y_{i-1} + V \cos(\chi_{i-1} - \beta_{i-1}) \cdot \Delta t + V_T \cos(q) \cdot \Delta t, \\ x_i = x_{i-1} + V \sin(\chi_{i-1} - \beta_{i-1}) \cdot \Delta t + V_T \sin(q) \cdot \Delta t \end{cases}, \quad (11)$$

где V_T - скорость течения, q - истинное направление ветра.

Уравнения (7) – (11) являются математической моделью задачи динамики движения судна на циркуляции. Как было сказано ранее данная модель была реализована в среде MathCad. На рис. 3 приведен внешний вид главного «окна» тренажера. В правой части окна приведены параметры циркуляции.

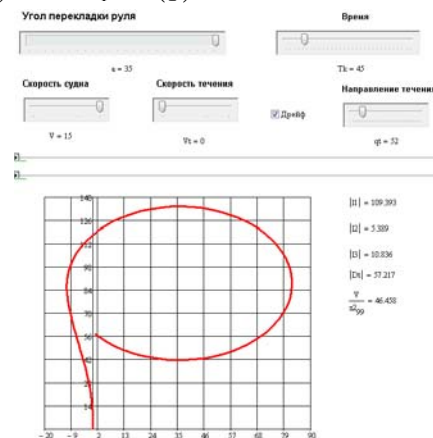
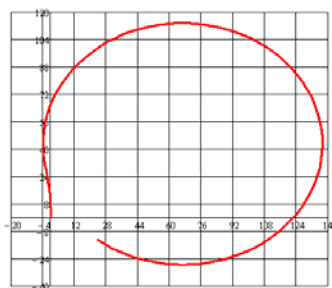
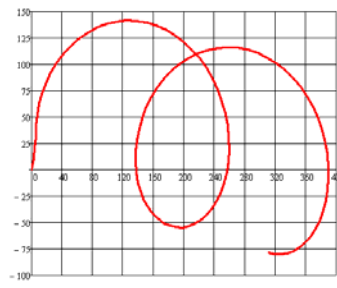


Рис. 3 - Главное окно тренажера

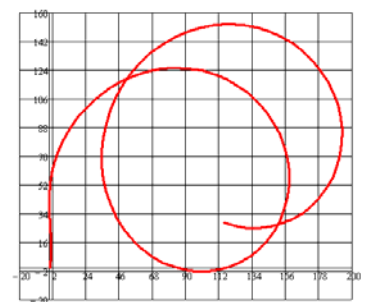
На рис. 4 приведены кривые циркуляции судна СЧС-225 при различных управляющих воздействиях и параметрах течения.



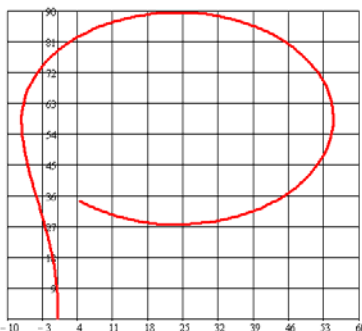
$$\delta_R = 15^\circ, V = 10 \text{ уз.}, V_T = 0.$$



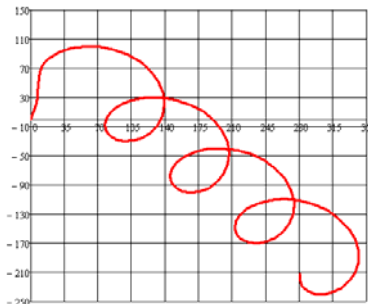
$$\delta_R = 15^\circ, V = 13 \text{ уз.}, V_T = 3 \text{ уз.}, q = 101^\circ$$



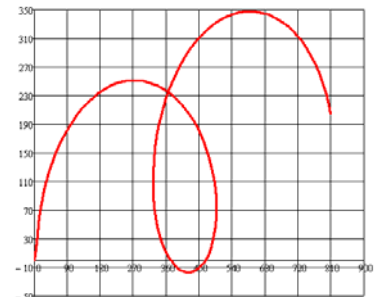
$$\delta_R = 15^\circ, V = 10 \text{ уз.}, V_T = 1 \text{ уз.}, q = 52^\circ$$



$$\delta_R = 35^\circ, V = 10 \text{ уз.}, V_T = 0.$$



$$\delta_R = 35^\circ, V = 15 \text{ уз.}, V_T = 5 \text{ уз.}, q = 136^\circ$$



$$\delta_R = 10^\circ, V = 15 \text{ уз.}, V_T = 5 \text{ уз.}, q = 73^\circ$$

Рис. 4 - Результаты имитационного моделирования

Вывод

Разработанный программный тренажер позволяет более глубоко исследовать такое понятие как циркуляция морского судна. Он дает свободу при задании управляющих воздействий и внешних факторов. На рис. 4 можно увидеть интересные случаи, которые не рассматриваются в учебной литературе.

Список литературы: 1. *Войткунский Я.И.* Справочник по теории корабля: [Справочник] / Я.И. Войткунский, Р.Я. Першиц, И.А. Титов – Л.: Судостроение, 1973. – 534 с. 2. *Юдин Ю.И.* Математические модели плоскопараллельного движения судна. Классификация и критический анализ / Ю.И. Юдин, И.И. Сотников // Вестник МГТУ, том 9, №2, 2006 г. стр.200-208

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 656.6

Программный тренажер для изучения процесса циркуляции морского судна/ М. В. Дворецкий, Н. В. Ивановский // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 66 (972). – С. 76-81. – Бібліогр.:2 назв.

У роботі запропоновано варіант реалізації класичної моделі руху судна на циркуляції. Практична цінність роботи - програмний тренажер для вивчення процесу циркуляції морського судна. Приведено докладний опис його побудови, а також багато графічного матеріалу результатів імітаційного моделювання.

Ключові слова: тренажер, циркуляція, математичне моделювання.

In this work, a variant of the classical model of the vessel into circulation. The practical value of the work - a software simulator to study the process of circulation of the ship. Added detailed description of its construction, as well as many graphic material results of simulation modeling.

Keywords: simulator, circulation, mathematical modeling.

УДК 656.212.5

Г. М. СІКОНЕНКО, канд. техн. наук., доц., УкрДАЗТ, Харків;

К. К. ГАЄНКО, студент, УкрДАЗТ, Харків

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ НА ПОЛІГОНІ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ МЕТАЕВРИСТИЧНИХ МЕТОДІВ

Для раціоналізації планування поїздоутворення запропоновано застосування метаевристичних методів, а саме методу заборони. Використання даного методу дозволяє отримати не тільки оптимальне рішення локальної задачі, а і рішення близьке до оптимального, що є дуже важливим при організації та пропуску вагонопотоків.

Ключові слова: вагонопотік, поїздоутворення, планування, пошук рішення.

Вступ. З метою забезпечення ефективності функціонування Укрзалізниці (УЗ) в умовах транспортного ринку стає необхідним удосконалення технології перевізного процесу. Скорочення експлуатаційних витрат повинно досягатися насамперед за рахунок удосконалення системи управління перевезеннями, впровадження систем автоматизації, нових технічних засобів, інформаційних технологій.

Планування поїздоутворення – це невід’ємна частина організації управління перевізним процесом на залізницях. В сучасних умовах до управління перевезеннями пред’являють вимоги гнучкого планування процесом накопичення та відправлення поїздів, а особливо при оперативному плануванні з урахуванням раціональних підходів до поїзної та вантажної роботи. За критерій оптимальності як правило, приймають сумарні експлуатаційні витрати на утримання транспортних засобів, людських ресурсів та ін., які приводять до єдиного самостійного вимірювача.

В ході оперативного планування роботи залізничного полігона з’являється

© Г. М. СІКОНЕНКО, К. К. ГАЄНКО, 2012

можливість поєднання струменів вагонопотоків за рахунок підводу у дільничних поїздах частини наскрізних призначень. Це надає можливість формувати на полігоні струмені з більш високим коефіцієнтом транзитності, і як наслідок скоротити витрати на просування вагонопотоків.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Великий вклад в розвиток методів планування перевезень внесли доктора наук О.О. Бакаєв, І.В. Белов, Т.В. Бутько, М.І. Данько, Б.І. Шафіркін, А.Г. Захаров, В.А. Дмитрієв та ін. Теоретичні питання інтенсифікації роботи станцій та напрямків освячені у працях Б.Е. Пейсахзона, М.Д. Іловайського, К.К. Тихонова, Д.Д. Ашукіна, Є.В. Архангельського, О.С. Пермінова, В.І. Некрашевича, В.К. Буянової та ін.

Авторами численних способів розрахунку плану формування односторонніх технічних маршрутів є доктори технічних наук К.А. Бернгард, А.К. Угрюмов, Л.П. Тулупов, В.М. Акулінічев та інші.

Задачу планування поїздоутворення можна віднести до класу транспортних задач з обмеженнями за часом.

Мета дослідження, постановка проблеми. Метою вирішення всіх транспортних задач є складання маршрутів транспортних засобів мінімальних за цінними витратами. Транспортні задачі з обмеженням за часом є підкласом транспортних задач з урахуванням часу, протягом якого повинен бути обслужений даний струмінь вагонопотоку. Будучи більш складними з постановки, дані задачі більш повно описують реальний процес, оскільки в багатьох практичних завданнях планування просування вагонопотоків час прибуття поїздів на станцію та час знаходження вагонів на станціях відіграють істотну роль.

Якщо всі поїзди прибували б в один і той же час, їх состави були незмінні, час ходу між станціями та час знаходження на станціях – постійним, то такі б задачі відносились до статичних транспортних задач.

Однак на практиці склади формованих поїздів не бувають однаковими не за кількістю вагонів, не за структурою, час руху по дільницях та час знаходження на станціях постійно змінюється, тому такі задачі відносять до динамічних транспортних задач з обмеженням за часом.

Згідно з літературою [1-3] методи рішення ТЗ з обмеженням в часі як статичних, так і динамічних можна розділити на точні (exact approaches), евристичні (heuristic approaches) і метавістичні (metaheuristics).

В останні роки для вирішення ТЗ з обмеженням за часом широко використовуються так звані метавістичні методи. До даних методів відносяться: метод "модельного" загартування або метод моделювання відпалу (simulated annealing), метод пошуку з заборонами (tabu search), метод мурашиної колонії (ant colony optimization), генетичні та еволюційні алгоритми [2]. Перевага даних методів перед класичними евристичними методами, заснованими на методі локального пошуку, в тому, що вони дозволяють досліджувати більший простір пошуку для знаходження рішення близького до оптимального, тоді як методи локального пошуку зупиняються після знаходження локального вирішення обраної області.

Привабливість методу заборон, як одного із сучасних методів вирішення транспортних задач з обмеженнями за часом, полягає в тому що, хоча в його основі і лежить метод локального пошуку, метод заборон дозволяє продовжувати пошук після знаходження локального оптимуму, тим самим, розширюючи простір пошуку, в надії знайти рішення близьке до оптимального. В експлуатації залізниць не завжди локальний оптимум може бути прийнятий за найбільш раціональний варіант пропуску вагонопотоку. Тому прагнуть знайти и близький до оптимального варіант. Для цієї мети

метод заборон використовує список заборон (tabu list), саме цей основний елемент методу заборон використовується для запобігання зациклення (повернення до попередніх рішенням) і для розширення простору пошуку [2]. Іншими основними поняттями в методі пошуку з заборонами, запозиченими з методів локального пошуку, є простір пошуку (search space) і механізм побудови області рішення (neighborhood structure).

Простір пошуку - це всі можливі рішення, які можуть бути отримані в ході рішення задачі, в даному випадку план формування поїздів на полігоні. Простір пошуку тісно пов'язане з механізмом побудови області даного рішення. Областю поточного рішення називають усі рішення, які можуть бути отримані з поточного, шляхом застосування до поточного вирішення певних операторів, процес застосування цих операторів і називається побудовою області поточного рішення [2]. Список заборон - це ключове поняття, що відрізняє метод заборон від методів локального пошуку. У списку заборон містяться переміщення (moves) які застосовувалися на попередніх етапах рішення. Список заборонених переміщень може бути як фіксованою, так і змінної довжини. Час, протягом якого дане переміщення міститься в списку заборон, називається тривалістю заборони (tabu tenure). Після закінчення цього часу переміщення видаляється зі списку заборон.

Описані вище елементи є основними в методі пошуку з заборонами. В роботі [4] пропонується алгоритм розв'язання динамічної ТЗ з обмеженням по часу з використанням паралельного методу пошуку з заборонами. Переваги паралельного методу полягає в тому, що при розпаралелюванні обчислень зменшується час роботи алгоритму.

Алгоритм складається з наступних етапів.

Початок

1. Методом конструювання маршруту будується k різних рішень задачі. Для вибору початкової станції формування використовується імовірнісний метод.

2. До кожного з отриманих k рішень застосовується метод пошуку з заборонами. Маршрути отриманих в результаті рішень зберігаються в адаптивній пам'яті. Поки $stop!=true$ виконуємо наступне

3. Із маршрутів, що містяться в адаптивній пам'яті будується нове рішення, це рішення називається поточним.

4. Поділяємо поточне рішення на C різних підмножини маршрутів.

5. Застосовуємо метод пошуку з заборонами до кожного підмножини.

6. Будуємо повне рішення з'єднанням підмножин маршрутів, отримане рішення назовемо поточним.

7. Зберігаємо маршрути поточного рішення в адаптивній пам'яті.

8. До кожного маршруту кращого рішення застосовується процедура додаткової оптимізації.

Кінець.

Вибір початкових станцій формування вагонопотоку для ініціалізації маршрутів відбувається імовірнісним чином. Адаптивна пам'ять, яка використовувалася в даному алгоритмі, являє собою масив пам'яті розміру M в якому зберігаються маршрути кращих рішень, отриманих у результаті роботи алгоритму. Адаптивна пам'ять призначена для вибору нових початкових рішень, в даному випадку – це вибір станції формування технічного маршруту. Для цього з адаптивної пам'яті вибираються маршрути, які і будуть представляти собою нове початкове рішення. Рішення, у вигляді маршрутів, займають позиції відповідні із цільової функції. Вибірка маршрутів з адаптивної пам'яті для конструювання нового рішення відбувається наступним чином. Імовірнісним чином

з пам'яті вибираються маршрути, ймовірність вибору маршруту з пам'яті тим вище, чим менше його порядковий номер у адаптивної пам'яті. При виборі чергового маршруту з пам'яті виключаються маршрути, що включають в себе станції з обраного маршруту. Процедура вибірки маршрутів продовжується до тих пір, поки не буде побудовано нове рішення. Процедура пошуку з заборонами застосовується як до "цілого" рішення з адаптивної пам'яті на ініціалізацій етапі, так і до підмножини маршрутів (частини рішення) отриманому в результаті поділу рішення на C підмножин. Процедура поділу рішення на частини і подальше відновлення цілого рішення шляхом об'єднання розділених частин (decomposition reconstruction) проводиться для зменшення часу обчислень і прискорення процесу пошуку.

Для підвищення якості рішення і зменшення часу роботи алгоритму використовується поділ на підзадачі, з подальшим відновленням рішення і застосуванням маршрутної оптимізації.

У даному методі динамічна транспортна задача з обмеженням за часом моделюється як серія статичних задач. Додавання нового струменю вагонопотоку призводить до появи нового не обслугованого запиту, даний запит вставляється в усі рішення, які знаходяться в адаптивній пам'яті і алгоритм продовжує свою роботу з новою кількістю струменів вагонопотоків.

Оцінка алгоритмів як евристичних, так і метаевристичних для транспортних задач з обмеженням за часом не є тривіальною задачею. Важливою властивістю усіх евристичних алгоритмів є час виконання і близькість отриманого рішення до оптимального. Зазвичай в даних алгоритмах йде розмін між якістю одержуваного рішення і часом виконання алгоритму. Чим більша кількість ітерацій проходить алгоритм, тим більш якісне рішення ми отримуємо. Найбільш загальний метод порівняння алгоритмів – це емпіричний. Але при порівнянні алгоритмів дослідним шляхом дослідники стикаються з різними використовуваними обчислювальними ресурсами і типами розв'язуваних задач. Так само на час виконання впливає різний професійний рівень кодування алгоритму. Метаевристичні методи більш затратні за часом і більш складні в застосуванні, однак саме вони є найбільш ефективними у вирішенні практичних завдань. Слід зазначити, що метаевристичні методи не протиставляються класичним евристичним методам, а навпаки використовують їх для формування стратегії пошуку в рамках конкретного метаевристичні алгоритму. Метаевристичні методи є подальшим розвитком евристичних методів, і в зв'язку з отриманими результатами є перспективним напрямком у вирішенні оптимізаційних задач.

Висновок. Вирішення планування поїздоутворення на полігоні із застосуванням методу пошуку з заборонами дозволить знайти раціональну стратегію формування поїздів на полігоні. Результати моделювання в оперативному режимі повинні видаватися на автоматизовані робочі місця оперативних працівників станцій та дорожніх центрів управління для зменшення експлуатаційних витрат, пов'язаних з організацією та пропуском вагонопотоків.

Список літератури: 1. Tobias Babb. Pickup and Delivery Problem with Time Windows, Coordinated Transportation Systems: The State of the Art. Department of Computer Science University of Central Florida Orlando, Florida, 2005. 2. J.-F. Cordeau, Guy Desaulniers, Jacques Gesrosiers, Marius M. Solomon, Francois Soumis. The VRP with Time Windows. Chapter 7, Paolo Toth and Daniel Vigo (eds), SIAM, Monographs on Discrete Mathematics and Applications, 2001. 3. Olli Braysy, Michel Gendreau. Route Construction and Local Search Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Time Windows. Internal Report STF42 A01024, SINTEF Applied Mathematics, 2001. 4. Gendreau M., et al., Parallel Tabu Search for Real-Time Vehicle Routing and Dispatching. Transportation Science, 33 (4), 381 - 390, 1999.

Надійшла до редколегії 12.10.2012

Рационалізація поїздоутворення на полігоні при застосуванні метаввристичних методів/ Г. М. Сіконенко, К. К. Гаєнко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. – № 66 (972). – С. 81-85. – Бібліогр.: 4 назв.

Для рационализации планирования поездообразования предложено применение метаввристичних методів, а именно метода запрета. Использование данного метода позволяет получить не только оптимальное решение локальной задачи, но и решение близкое к оптимальному, что очень важно при организации и пропуске вагонопотоков.

Ключевые слова: вагонопоток, поездообразование, планирование, поиск решения.

To streamline the planning application metaheuristic technology of trains proposed methods, namely the method of the ban. It is emphasized that this way you can get not only the optimum solution of the local problems, but also close to the optimal solution, which is important for the organization and pass wagon traffic. Im:0 DBMS is drawn is developed.

Keywords: wagon, technology of trains, planning, finding a solution.

УДК 004.45

М. І. ЛАЗУТКІН, канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запоріжжя

ЕТАПИ КОМПОНОВКИ ПІДСИСТЕМИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВУЗЛІВ РЕА

Розширення номенклатури вузлів РЕА, що випускаються, і часта зміна технології їх виготовлення вимагає підвищення живучості створюваних і використовуваних САВР. Актуальність цього питання виявляється на етапі компоновки функціональних вузлів РЕА, в які входять: розробка алгоритмів підсистеми, управління процесом компоновки і її ітераціональний метод компоновки. Показані критерії оптимізації при ітераціональній методиці компоновки.

Ключові слова: процес компоновки, модульний принцип, графова модель

Вступ. Стан розробок програмного забезпечення процесу автоматизації конструкторського проектування друкарських вузлів в даний час характеризується наявністю великого числа САВР, побудованих за принципом "жорсткої" технології, коли в системі алгоритмічно зафіксована конкретна постановка проектного завдання при заданих конструкторсько-технологічних обмеженнях. Зміна обмежень вимагає, як правило, значного корегування програмного забезпечення, утрудняє нарощування функціональних можливостей системи і, тим самим, звужує сферу її застосування.

Розширення номенклатури функціональних вузлів РЕА і часта зміна технології їх виготовлення, що випускаються, вимагають підвищення живучості створюваних і використовуваних САВР. Одним з шляхів вирішення цієї задачі є наділ систем властивістю інтелектуальності, що є одним з центральних аспектів їх еволюційного розвитку. У зв'язку з цим необхідне об'єднання традиційних проектних операцій з автоматизацією оцінки якості проміжних рішень, представлення інженерних знань, використання цих знань для управління процесом проектування.

В значній мірі актуальність такого підходу виявляється на етапі компоновки функціональних вузлів (ФВ) РЕА, що має істотний вплив на якість проектних рішень, які отримуються на подальших етапах синтезу друкарського монтажу.

До етапів системи компоновки входять:

- архітектура підсистеми компоновки;
- розробка алгоритмів функціонування підсистеми компоновки.

Основна частина. Відповідно до принципів побудови систем штучного інтелекту в структуру підсистеми компоновки необхідно ввести якісно нові елементи: базу знань (БЗ) і блок управління процесом компоновки (БУПК).

БЗ призначена для зберігання інформації про формальну модель наявної області

(НО). Така модель містить всі поняття і відносини між ними, які разом з правилами виведення думок про властивості цих понять і стосунків утворюють знання про конкретні області проектування РЕА. Під знаннями в загальному випадку розуміють відомості, які відображають закономірності, що існують в НО, і дозволяють як виводити нові факти, які мають місце в даному стані НО, але не зафіксовані в базі даних, так і прогнозувати потенційно можливий стан.

Основною відмінністю знань від даних є те, що перші відображають причинно-наслідкові зв'язки предметної області і тому дозволяють прогнозувати окремі її властивості.

Введення в структуру підсистеми компоновки БЗ обумовлює специфіку організації БУПК. Основними функціями БУПК є планування, контроль і корекція виконання процесу проектування.

В процесі функціонування підсистеми БУПК повинен здійснювати перетворення моделі предметної області, який проектується відповідному типу функціонального вузла і моделі. Побудова планів рішення ґрунтується на використанні для уявлення знань про завдання формалізованого представлення проблемної області у формі графа, вузли якого відповідають можливим станом простору рішень, а дуги можливим проектним операціям, які перетворюють ці стани. Як вирішальні процедури при цьому повинні використовуватися різні Нормальні процедури пошуку шляхів на графі.

Умовою існування підсистеми компоновки є наявність комплексу компонентів САПР, якими є елементи усіх забезпечень автоматизованого проектування, необхідні для виконання підсистемою її функцій.

Характерною рисою архітектури підсистеми компоновки є чітке розмежування програм для проектування та для обслуговування. Такий підхід до будування програмного забезпечення (ПЗ) дозволяє, по-перше, легко його модифікувати та розширювати і, по-друге, переносити на інші технічні засоби, оскільки всі машинозалежні програмні компоненти локалізовані в обслуговуючих програмних модулях.

Управління ходом обчислювального процесу і координація взаємодії компонентів підсистеми здійснюється монітором. Оскільки самоналагоджувальний процес конструкторського синтезу є багатоетапним з конфігурацією етапів, які динамічно змінюються та охоплені зворотними зв'язками процесів, то монітор є найважливішим елементом підсистеми компоновки.

Монітор підсистеми виконує наступні функції:

- визначення режимів роботи підсистеми компоновки;
- ведення статистики результатів роботи підсистеми;
- динамічний розподіл пам'яті.

ПЗ підсистеми є багаторівневою ієрархічною структурою, реалізованою за модульним принципом. ПЗ підсистеми орієнтовано на роздільне редагування усіх його компонентів і їх динамічне завантаження в оперативну пам'ять (ОП) в міру необхідності. Монітор підсистеми є резидентним, тобто постійно знаходиться в ОП. Динамічна структура ПЗ характеризується легкістю розширення і модифікації, а також значною економією пам'яті.

Інформаційне забезпечення (ІЗ) складається з бази даних проекту, бази знань, архіву підсистеми, інтерфейсу користувача, інтерфейсу бази даних і інформаційного інтерфейсу.

З метою підвищення адаптаційних властивостей підсистеми компоновки структура (ІЗ) має бути інваріантною до можливих змін конструкторсько-технологічних вимог і обмежень, а також елементної бази проєктованих функціональних вузлів РЕА.

Крім того, для підвищення швидкодії підсистеми, необхідно скоротити час міжмодульного обміну інформацією шляхом максимального зменшення кількості звернень до зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв. Ця вимога реалізується за допомогою організації програмних файлів, що знаходяться в ОП ЕОМ. Звернення до них повинне здійснюватися за допомогою спеціальних програмних засобів.

Ефективність такої архітектури підсистеми компонування забезпечується її відкритістю, гнучкістю програмного і інформаційного забезпечення, можливістю коригування або заміни окремих програмних модулів без порушення цілісності усієї структури ПЗ, що, кінець кінцем, підвищує "живучість" підсистеми компонування.

Управляюча програма (УП), що містить компоненти структурно-параметричної адаптації, дозволяє здійснити вибір оптимального маршруту проектування відповідно до типу проектного ФВ і настроїти підсистему на конкретні конструкторсько-технологічні вимоги і обмеження. При цьому підпрограма аналізу УП дозволяє розпізнавати схеми з'єднань РЕА і ЕОА, визначати міру їх приналежності до заданих класів графових моделей з метою подальшого вибору з альтернативного програмного забезпечення комплексу програм для виконання чергового кроку проектування.

Набір схем для тестування складається з простих базових схем, що моделюються графами типу "неограф" (моделі MG1, MG3), схем середньої складності типу "фіксоване дерево" (моделі MG1', MG3') значної складності типу "гіперграф" (моделі МН) і надскладних схем типу "елементний комплекс" (моделі МУ). Для розпізнавання схем пропонуються різні процедури кластер аналізу і використання апарату теорії розмитих (нечітких) великих кількостей. При цьому УП вирішує наступні завдання:

- якщо немає обмежень на кількість елементів (K_4) і на число зовнішніх зв'язків (N_2) у формованому ФВ, і немає елементів, заборонених для програмної установки (K_3), тобто схема, що реалізовується, досить проста, має невелику кількість з'єднань, - моделюється графом типу "неограф" (модель MG1) і в ній відсутні елементи, які з міркувань електромагнітнотеплової сумісності мають бути розміщені в різних ФВ, то УП здійснює звернення до ППр компонування послідовним методом на графі з подальшою оцінкою якості по коефіцієнту мінімізації (K_{min});

- якщо в схемі є елементи, розміщення яких в одному ФВ веде до погіршення теплового режиму, швидкодії, або зниженню завадостійкого функціонування облаштування (ССУ моделюється графом типу "неограф" (модель MG3), то УП викликає підпрограму компонування паралельно-послідовним методом, який дозволяє ще на початковому етапі розставити елементи, заборонені для програмної установки, в різні ФВ;

- якщо після оцінки якості компонування потрібно подальше поліпшення варіанту розрізання схеми ($K_{min} > 0,5$), то здійснюється виконання компонування методом ізоморфного перетворення матриці суміжності, в якому основним критерієм оптимізації є мінімізація числа ребрового з'єднання – сформованих кусків.

У тому випадку, коли ССУ РЕА представляється графовою моделлю типу MG1, завдання компонування формулюється таким чином: необхідно розрізати граф $G=(X, U)$ на задану кількість шматків $G_i=(X_i, U_i)$ при оптимізації деякої цільової функції. Безліч вершин графа X моделюють конструктивні елементи, які покривають задану електричну принципову схему, а безліч ребер U_i - електричні з'єднання. Шматок $G_i=(X_i, U_i)$ є частиною графа, для якого $X_i \subset X$ і $|X_i| \leq |X|$, $U_i=U_{ii} \cup U_{ij}$, де U_{ij} - безліч ребер, обидва кінці яких інцидентні вершинам X_i ; U - безліч сполучних ребер, один кінець, яких належить вершинам з безлічі X_i , а другий $X \setminus X_i$. Кожен конкретний шматок G_i моделює сформований ФВ, а його сполученні ребра з урахуванням ваги кожного дають представлення про завантаженість розмикачів даного ФВ. В якості критерію

оптимізації в цьому алгоритмі було використано мінімум числа зв'язків між сформованими ФВ. Алгоритм компонування полягає в наступному: - граф $G = (X, U)$ необхідно розбити на m шматків $G_i = (X_i, U_i)$, $i \in I(1, 2, \dots, m)$ з числом вершин $(n_1, n_2, \dots, n_m)$ в кожному. Завдання вирішується так, щоб із заданого набору вершин $|X|$ сформувати шматок $G_i = (X_i, U_i)$, де $|X_i| = n_i$, який видаляють з графа. Отриманий новий граф $G^1 = (X^1, U^1)$ утримує на n_1 вершин менше за початковий. З цього графа формується шматок $G_2 = (X_2, U_2)$ і так далі, поки не буде сформований шматок $G_{m-1} = (X_{m-1}, U_{m-1})$. Вершини графа $G = (X, U)$, що залишилися, вважаються $G_m = (X_m, U_m)$, які потрапили в шматок.

де $p(x_i)$ - поточна локальна міра аналізованої вершини X_i мультиграфа;

При конструції цільова функція (ЦФ) шукається вершина, яка пов'язана максимальною кількістю ребер з мінімальним числом нерозставлених вершин. ЦФ формування другого і подальших рівнів записується у виді:

$$F_2^1 = \max \frac{a_{ij}}{p(x_i) - a_{ij} + 1} \quad (1)$$

де $p(x_i)$ - поточна локальна міра аналізованої вершини X_i мультиграфа;

a_{ij} - число ребер, що зв'язують вершину X_i з вершинами у сформованому шматку (внутрішні зв'язки); знаменник показує, скільки ребер сполучає вершину X_i з вершинами, які не стоять у сформованому шматку (зовнішні зв'язки).

Після формування кожного варіанту ФВ робиться розрахунок коефіцієнта мінімальності (K_m) для нього і для усього пристрою в цілому.

Оскільки матриця суміжності описує граф з точністю до ізоморфізму, то завдання розрізання графа на шматки можна сформулювати таким чином: безліч рядків матриці суміжності R треба розбити на дві не перехрещених підмножини таким чином, щоб число рядків у кожній множині відповідало числу вершин у відповідному шматку, а число ненульових елементів у клітках (K) було мінімальним. При цьому перестановка елементів з одного куска в інший буде відповідати перестановці рядків і стовпців матриці R .

Рішення задачі починається з побудови вектора-стовпця чисел зв'язності $A = \{a_i\}$, в якому a_i обчислюються для кожного рядка матриці суміжності $i=1, N$, де $n = |X|$ - число вершин графа $G(X, U)$. Якщо рядок має номер $k \in I = \{1, 2, \dots, p\}$, то обчислюється число внутрішньої зв'язності

$$a_k = r_{ks} - r_{kl} \quad (2)$$

де $F = \{p+1, p+2, \dots, n\}$; p - число вершин шматка G_i , що виділяється.

Якщо $q \in F$, то для цього рядка визначається число зовнішньої зв'язності

$$a_q = \sum_{l \in I} r_{ql} - \sum_{f \in F} r_{qf} \quad (3)$$

Використовуючи матрицю R і вектор-стовпець A , можна знайти такі перестановки рядків і стовпців матриці R , які дозволять привести її до виду, коли у клітинах буде сконцентровано максимальну кількість ненульових елементів. З цією ціллю будується матриця $B = \| |v_{kq}| \|_{(n-q) \times p}$ в якій рядки визначаються вершинами із безлічі I , а стовпці вершинами із безліччю F . На перехрещенні K -того рядку $k \in I$ і q -го стовпця $q \in F$ знаходиться елемент v_{kq} . Максимальний позитивний елемент v_{kq} визначає номери рядків та стовпців, переставлення яких дає максимальне зменшення числа сполучених ребер.

У тому випадку, коли електрична схема устрою виконана тільки на ІС і БІС, маючих не більш 16 виводів кожна, вводяться обмеження на N_2 . Якщо ж у схемі використовуються мікропроцесори і БІС з кількістю виводів 16, то у деяких випадках необхідно використовувати обмеження на K_4 . Розтлумачується це такою причиною:

наприклад, печатна плата повинна мати 40 вихідних контактів ($N_2=40$), а елемент, який відшукується підпрограмою по максимальному числу зовнішніх зв'язків, має 48 виводів (мікропроцесорів), робота ППР на цьому завершується, тому що обмеження на N_2 вже перевищено, в той же час як при обмеженні на K_4 робота ППР буде продовжуватися і сформований ФВ, можливо, буде мати значно менше вихідних контактів, ніж сорок. Формування 1-го рівня будь-якого ФВ починається з елемента $x_i \in X$ з використанням ЦФ вигляду:

$$F_1(x) = \max |x_i \cap X^1| \quad (4)$$

де X - безліч елементів схеми $x_i = \bigcup_{l_i}^k$; l_i - ланцюг, належний X_i -тому елементу;

$X^1 = \{l_1, \dots, l_m\}$ - ланцюги, що належать нерозставленим елементам.

Ця ЦФ визначає елемент з максимальною кон'юнкцією по відношенню до останніх представлених елементів. Кожен елемент $x_i \in X$ представляється як безліч ланцюгів цього елемента, а X - безліч представлених елементів схеми. Перевірка обмеження на N_2 здійснюється з використанням ЦФ, при цьому має вигляд:

$$F_2^{\text{огр}} \leq N_2 \quad (5)$$

При виконанні обмеження (6) у вузол розміщується елемент, для якого виконується умова:

$$F_3(x) = \max |x_i \cup X_i|, \quad (6)$$

що має максимальну кон'юнкцію. Для усунення виконання зайвих операцій, при рішенні завдання на ЕОМ, ЦФ формування 2-го і подальших рівнів записується у вигляді:

$$F_2^1(x) = \max \frac{F_3(x)}{F_3^{\text{огр}}(x)}. \quad (7)$$

Використовуючи ЦФ (7) завдання вирішується з використанням 2 стратегій:

-головне обмеження - K_4 , тоді виконуючи (7) перевіряється його виконання;

-головне обмеження - N_2 , тоді виконуючи (7) перевіряється спочатку виконання умови (5) якщо воно виконується, то перевіряється виконання обмеження K_4 . Якщо вимоги (5), при реалізації цієї стратегії, не виконується, то 2-е обмеження не перевіряється і цей вузол слід розраховувати як сформованим, після чого можливо приступати до формування іншого Функціонального Вузла.

Висновок

Таким чином, основним критерієм оптимізації при ітераційному методі є мінімізація числа ребрового з'єднання (ЧРЗ) формованих шматків. Метод використовується у тому випадку, коли поставлену задачу необхідно вирішувати на моделях елементного комплексу, адекватних реальному об'єкту. Метод реалізується за наявності двох обмежень на кількість елементів (K_4) у формованому ФВ або на число зовнішніх зв'язків (N_2). Наявність двох обмежень обумовлена підвищенням рівня інтеграції елементної бази (ІС, БІС, мікропроцесори), а також вимогам підвищення щільності компоновки, виконання якого суттєво знижує конструктивні затримки і підвищує швидкодію ФВ РЕА. Зниження числа міжвузлових з'єднань набагато підвищує ступень надійності радіоелектронних вузлів, так як знижує вплив високочастотних електричних полів (підвищується імпульсна поміхостійкість апаратури).

Список літератури: 1. Малий О. Ю., Фарафонов О. Ю., Лазуткін М. І. Алгоритм автоматизованого вибору вісьми розрядного мікроконтролера при рішенні інженерних задач// Харків, «Радіотехніка», 2011, с. 11-178 2. Соломенцев Ю. М., Митрофанов В. Г. та ін. Информационно-вычислительные системы в машиностроении // Москва, «Наука», 2003. 3. Норенков І. П. Основы автоматизированного проектирования. Москва, Изд. МГТУ им.Баумана, 2006

Надійшла до редколегії 20.11.2012

Етапи компоновки підсистеми функціональних / М. І. Лазуткін // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 85-90. – Бібліогр.:3 назв.

Расширение номенклатуры узлов РЭА, которые выпускаются, и частая сменяемость технологии их изготовления требует повышенную живучесть создаваемых и используемых САПР. Актуальность этого вопроса определяется на этапе компоновки функциональных узлов РЭА, в которые входят: разработка алгоритмов подсистемы, управление процессом компоновки и ее итерационный метод компоновки. Показаны критерии оптимизации при итерационной методике компоновки.

Ключевые слова: модульный принцип, графовая модель, межузловое соединение, матрица,

Expansion of nomenclature of the produced knots of REA and often changing technology of their making requires the increase of vitality created and in-use CADD. Actuality of this question shows up on the stage of kompanovki of submachines of REA. It is development of algorithms of subsystem, process of kompanovki control and it iteracional'nyy method of kompanovki. The criteria of optimization are rotined.

Keywords: functional knots, process of configuration, modular principle, graph model, matrix

УДК 666.29.022:546.74

В. О. ЛОБОЙКО, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»;**А. М. БУТЕНКО**, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПІ»;**Г. О. ЮРЧЕНКО**, аспірант, НТУ «ХПІ»**ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ
ТЕРМОХІМІЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ СПОЛУК НІКОЛУ (II)**

Проведено дослідження кінетики процесу термохімічного відновлення нікол (II) гідроксиду твердим комплексним відновлювачем.

Ключові слова: нікель, порошок, кінетика, гексаметилентетрамін.

Вступ

Порошки на основі нікелю знаходять застосування у виробництві магнітів, акумуляторів, фільтруючих елементів, електроконтактів, спеціальних покриттів, барвників, каталізаторів, зварювальних електродів, композиційних клеїв, феритів, в порошкової металургії в якості складової важких і твердих сплавів, при відновленні вузлів агрегатів піддаються зносу. Нікелевий порошок використовується в полярно різних сферах промисловості: починаючи від виготовлення електродів нікелевих батарей і завершуючи виготовленням барвників та імітацією виробів зі срібла. І дійсно, порошки для наплення на основі нікелю дуже правдоподібно імітують ефект срібного покриття. В залежності від цілей застосування, порошковий нікель має розмір часток від 0,1 мкм до 0,5 мм. Застосування в металургії порошоків більш економічним, ніж робота з цільними металами.

В промисловості методи одержання металевих порошоків ділять на електролітичні і хімічні. Процес хімічного відновлення сполук нікелю (II) різними реагентами досить ретельно досліджений багатьма вченими. Як відновлювача використовують як газоподібні, так і тверді речовини. Найбільш поширеним газоподібними відновниками є водень [1-3] і моно оксид вуглецю [4]. З твердих - вуглець [5, 6]. Але спектр останніх відновників дуже широкий. Ними можуть служити деякі органічні сполуки, що містять одночасно два відновлюючи елемента (вуглець і водень). Такі відновлювачі називають «комплексними» і використовують при відновленні порошоків оксидів металів в режимі твердофазного горіння [7], в основі якого полягає метод само розповсюдженого високотемпературного синтезу [8].

У даній роботі, запропоновано технологічна стадія відновлення гідроксиду ніколу (II) до металу за допомогою гексаметилентетраміну в низькому вакуумі (340 мм.рт.ст.) і температурному інтервалі 582-673 К. Вакуум в реакторі забезпечувався лабораторним вакуумним насосом 2НВР-ОДР.

Розрахунок термодинамічних характеристик даної стадії технології показує термодинамічну можливість такого варіанту відновлення $\text{Ni}(\text{OH})_2$ до Ni^0 (рис. 1), а експериментальні

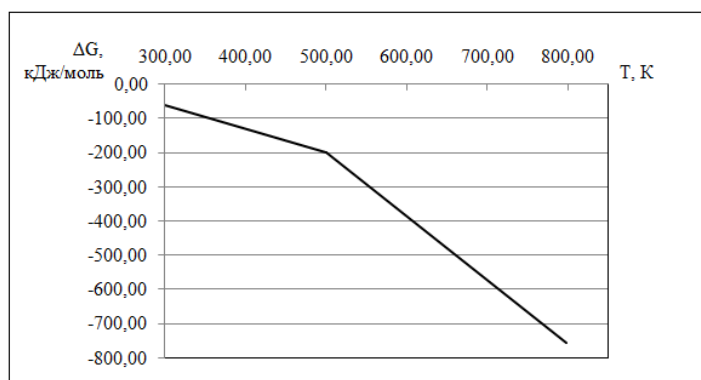
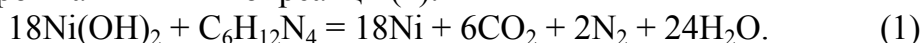


Рис. 1 – Залежність енергії Гіббса ΔG від температури T для реакції відновлення гідроксиду ніколу (II) гексаметилентетраміном (I)

дослідження підтвердили протікання хімічної реакції (1).



Мета роботи

Метою даної роботи було встановлення кінетичних характеристик процесу відновлення нікол (II) гідроксиду, отриманого за технологією переробки вторинної ніколевмісної сировини, гексаметилентетраміном.

Методика експериментів

З [9] відомо, що визначення кінетичних параметрів процесу можна здійснювати як у формі ізотермічних, так і у формі неізотермічних експериментів. У рамках даної технології найбільш розповсюдженим є ізотермічний метод. В виду певних особливостей вказаного процесу, здійсненого запропонованим способом, для визначення ступеня відновлення $\text{Ni}(\text{OH})_2$ був використаний метод лазерної маспектронетрії за допомогою енергомасаналізатора ЕМАЛ-2.

Обговорювання результатів

Для встановлення кінетичних параметрів вказаного процесу, а саме: констант швидкості (k), предекспоненційних множників (k_0) та енергії активації (E), були проведені дослідження по відновленню $\text{Ni}(\text{OH})_2$ за різного часу обробки та температур, інтервал яких обирали згідно отриманих результатів дериватографічного аналізу, з яких стало відомим, що процес відновлення починається за $T = 543 \text{ K}$ та набуває найбільшої інтенсивності за $t = 583 \text{ K}$. Отримані, таким чином, результати наведені на рис. 2.

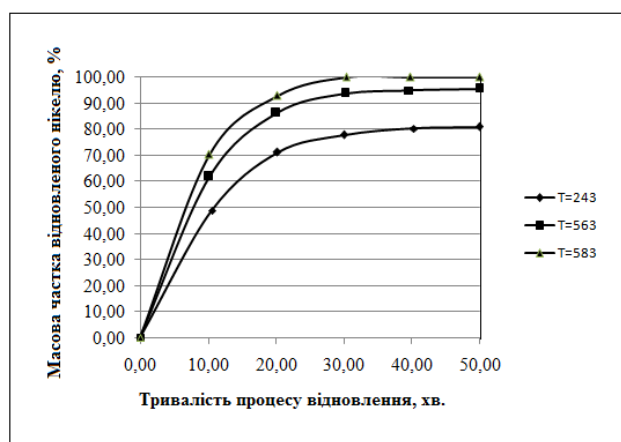


Рис. 2 – Залежність ступеня відновлення $\text{Ni}(\text{OH})_2$ від температури

З рис. 2 видно, що найбільший ступінь відновлення досягається при обробці не менш 30 хв. Слід відмітити, що досягти практично 100 %-й ступінь відновлення вдається лише за $t = 573\text{-}583 \text{ K}$. Найвище значення даного показника за температури 543 та 563 K склало ~ 80 та 96% відповідно. Таку малу ступінь відновлення за $T = 543 \text{ K}$ можна пояснити тим, що за цієї температури відновлювач тільки локально починає розкладатися на газові продукти, які і є відновлювачами. Отже підвищення температури позитивно впливає на відновлення $\text{Ni}(\text{OH})_2$ при використанні уротропіну як відновника.

Як відомо даний процес (реакція 1) відноситься до так званих топохімічних, тому розрахунок константи швидкості слід проводити за рівнянням першого порядку [9]:

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{\omega_0}{\omega}, \quad (2)$$

де k – константа швидкості, с^{-1} ;

τ – час, с^{-1} ;

ω_0 – початкова масова частка $\text{Ni}(\text{OH})_2$, %;

ω – поточна масова частка металевого Ni, %;

Отримані дані були використані для графічного визначення енергії активації даного процесу, згідно якого була побудована залежність $\ln k$ від $1/T$ (рис. 3).

Згідно даному методу E вираховується за рівнянням (3):

$$E = R \cdot \text{tg } \beta, \quad (3)$$

де R – універсальна газова стала, Дж/(моль $\cdot$ K);

β – кут нахилу експериментальної прямої до вісі $1/T$.

Таким чином, було отримано значення енергії активації, яке склало ≈ 30 кДж/моль. Це значення відповідає умовам першого порядку реакції та вказує на дифузійну область перебігу даного процесу.

Продовження отриманої графічної залежності (рис. 3) до перетину з оссю у при $1/T = 0$ дало можливість графічно визначити предекспонічний множник. В даному випадку воно склало $k_0 = 1,701 \text{ с}^{-1}$.

Висновки

Наявність кутової точки на графіку функції $\Delta G = f(T)$ (рис. 1) відповідає тій температурі (при атмосферному тиску), при якій реакція відновлення $\text{Ni}(\text{OH})_2$ гексаметиленetetраміном в результаті сублімації останнього переходить з твердої фази в газову. Встановлені кінетичні параметри даного процесу: $E_{\text{акт}} = 30$ кДж/моль, k за температури 583 К дорівнює $k = 0,002762 \text{ с}^{-1}$, а предекспоненційний множник $k_0 = 1,701 \text{ с}^{-1}$. Даний процес має перший порядок та перебігає у дифузійній області.

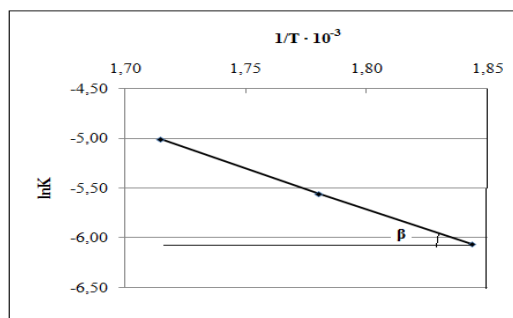


Рис. 3 – Залежність $\ln k$ від $1/T$

Список літератури: 1. Булгаков Н. Н. О природе каталитического действия продукта при восстановлении окислов металлов / Булгаков Н. Н., Болдырев В. В. // Кинетика и катализ, 1973. – Т.14. – № 6. С 1402-1405. 2. Байбов В. В. Закономерности восстановления никеля водородом / В. В. Байбов, М. Г. Крашенинников, С. И. Филиппов // Известия ВУЗов. Черная металлургия, 1964. № 1. С. 13-19. 3. Катаяма Хидэси Восстановление окислов никеля в жидком шлаке с помощью водорода / Катаяма Хидэси, Тагути Сэйси, Цутія Нобуи, Окабэ Кедзи // Tetsu to hagane, J. Iron and Steel Inst. Jap., 1978. V. 64. № 11. Р. 12. 4. Байков А. А. Восстановление окислов твердым углеродом / Байков А.А., Тумарев А. С. // Известия АН СССР. ОТН, 1967. № 1. С. 25-45. 5. Герасимов Я. И. Химическая термодинамика в цветной металлургии / Я.И. Герасимов, А.Н. Крестовников, А.С. Шахов. – М.: Металлургиздат, 1961. Т 2. 6. Ванюков А. В. Комплексная переработка медного и никелевого сырья / А.В. Ванюков, Н.И. Уткин. – Челябинск: Металлургия, 1988.–432 с. 7. Merzhanov A.G. // Ceram. Intern. 1995. V. 21. Р. 371/ 8. Куликов И. С. Термодинамика оксидов: справ. изд. / И.С. Куликов. – М.: Металлургия, 1986. – 137 с. 9. Продан Е. А. Неорганическая топочимия / Е. А. Продан. – Минск : Наука и техника, 1986. – 134 с.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 666.29.022:546.74

Визначення кінетичних параметрів процесу термохімічного відновлення сполук ніколу (II)/ В. О. Лобойко А. М. Бутенко, Г. О. Юрченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 91-93. – Бібліогр.: 9 назв.

Проведены исследования кинетики процесса термохимического восстановления никель (II) гидроксида твердым комплексным восстановителем.

Ключевые слова: никель, порошок, кинетика, гексамаэтиленetetрамин.

The investigations of the kinetics of thermochemical reduction nickel (II) hydroxide complex solid reductant.

Keywords: nickel, a powder, kinetics, Methenamine (INN).

УДК 541.127: 542.943

А. Г. ГАЛСТЯН, канд. хім. наук, доц., декан, Східноукраїнський національний університет ім. В.Дала Інститут хімічних технологій, Рубіжне

КІНЕТИКА ТА ПРОДУКТИ ОКИСНЕННЯ 3-АМІНОТОЛУЕНУ ОЗОНОМ У РІДКІЙ ФАЗІ

Вивчено рідиннофазне окиснення 3-амінотолуену озоном в оцтовому ангідриді в присутності

© А. Г. ГАЛСТЯН, 2012

сульфатної кислоти. Показано, що в цих умовах окиснення перебігає переважно за ароматичним кільцем субстрату з утворенням аліфатичних пероксидів (72.0%). Серед продуктів окиснення за метильною групою ідентифіковано 3-ацетиламінобензилацетат (6.5%) та 3-ацетиламінобензилідендіацетат (19.5%)

Ключові слова: окиснення, 3-амінотолуен, озон, сульфатна кислота.

Вступ

У роботах [1,2] було показано, що в оцтовій кислоті озонування амінотолуенів перебігає, в основному, за аміногрупою з утворенням смолоподібних сполук, толухінону та нітросполук. Попереднє ацилювання субстрату дозволяє захистити аміногрупу від дії озону і спрямувати процес окиснення в присутності певних каталізаторів переважно за метильною групою з утворення відповідних ацетиламінобензойних кислот. Виділити в цих умовах в якості кінцевих продуктів окиснення ацетиламінобензилові спирти і ацетиламінобензальдегіди неможливо за їх високу реакційну здатність. На нашу думку, це може статися в присутності у системі стоп-реагенту, наприклад, оцтового ангідриду, який є сильним ацилюючим агентом [3], спроможним перетворювати проміжні продукти – відповідні ароматичний спирт і альдегід, в момент їх появи в системі, у стійкі до дії озону сполуки.

Мета роботи

Метою даної роботи є дослідження кінетики і продуктів окиснення 3-амінотолуену озонотоповітряною сумішшю у розчині стоп-реагенту - оцтового ангідриду, в присутності мінеральної кислоти.

Методика експериментів

Кінетику окиснення 3-амінотолуену в оцтовому ангідриді досліджували за методикою, описаною у [2]. Концентрацію 3-ацетиламінотолуену і продуктів його подальшого перетворення у розчині визначали методом газорідинної хроматографії на хроматографі з полум'яно-іонізаційним детектором на колонці довжиною 3м і діаметром 4мм, заповненою носієм „Інертон AW-DMCS”, обробленим 10% розчином NaOH та нанесеною нерухомою фазою “Апіезон L” у кількості 10% від маси носія, за наступних умов: температура термостату – за програмою 100-240 °C за 15 хв; швидкість газу носія (азот) – 1.8; водню – 1.8; повітря – 18 л/год. В якості внутрішнього стандарту використовували нітробензен. Продукти пероксидного характеру визначали йодометричним методом. Константи швидкості реакції озону з 3-ацетиламінотолуеном і продуктами його окиснення розраховували за методикою, приведеною у [4].

Обговорення результатів

3-Амінотолуен в оцтовому ангідриді швидко ацилюється вже в процесі приготування розчину для окиснення і тому реагує з озоном як 3-ацетиламінотолуен (рис.1) [3].

При температурі 20°C молекулярний кисень окиснює 3-ацетиламінотолуен в оцтовому ангідриді надзвичайно повільно: після 6 год. реакції концентрація субстрату зменшується лише на 6%, продукти окиснення в системі з'являються у слідових кількостях. Проте в умовах дослідів 3-ацетиламінотолуен швидко окиснюється озонотоповітряною сумішшю: при 20°C переважно утворюються стійкі до дії озону пероксидні сполуки (72.0%) і, в значно менших кількостях, продукти окиснення за метильною групою, склад яких змінюється в залежності від наявності сульфатної кислоти – каталізатора ацилювання [3]. У відсутності мінеральної кислоти метильна група переважно перетворюється у 3-ацетиламінобензилацетат (3.2%), 3-ацетиламінобензилідендіацетат (8.9%) та 3-ацетиламінобензойну кислоту (15.0%), причому продукти утворюються послідовно (табл.1). В присутності каталітичних добавок сульфатної кислоти у системі накопичується 3-ацетиламінобензилацетат (6.5%)

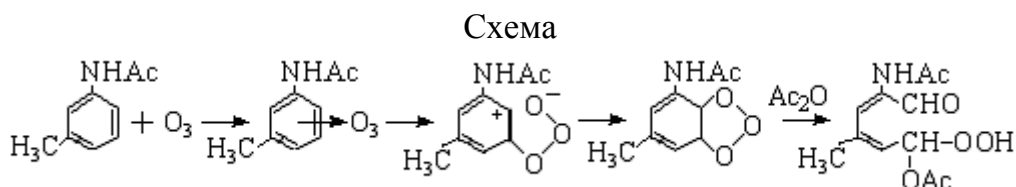
та 4-ацетиламінобензилідендіацетат (19.5%) (табл.1). 3-Ацетиламінобензойна кислота з'являється у системі лише після вичерпного окиснення субстрату.

Таблиця 1 – Вплив сульфатної кислоти на склад продуктів окиснення 3-ацетиламінотолуолу при температурі 20⁰С; [ArCH₃]₀ = 0.4; [O₃]₀ = 4·10⁻⁴ моль/л; об'єм розчину 0.03 л.

[H ₂ SO ₄], моль/л	Продукти окиснення 3-ацетиламінотолуолу, %				
	Пероксиди	3-ацетил-амінобензил-ацетат	3-ацетил-амінобензилідендіацетат	3-ацетиламіно-бензойна кислота	Неідентифіковані продукти
-	72.0	3.2	8.9	15.0	0.9
0.8	72.0	6.5	19.5	-	2.0

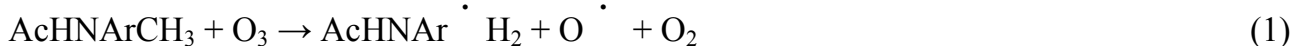
Щодо пероксидів, утворених у системі, необхідно зауважити їх досить високу стійкість до дії озону, що сприяє їх накопиченню з високим виходом (табл.1). Вони добре розчиняються в оцтовій кислоті і оцтовому ангідриді, з високою швидкістю реагують з йодидом калію, при цьому на протязі 1 години і 24 годин утворюється одна і та ж кількість молекулярного йоду, яка відповідає одній гідропероксидній групі. Цей факт, а також стехіометричний коефіцієнт за озоном (при 20⁰С $n = \Delta O_3 / \Delta ArCH_3 \approx 1$) дозволяють припустити, що кінцевий продукт окиснення 3-ацетиламінотолуолу за ароматичним кільцем містить одну гідропероксидну групу.

Відповідно до [5,6], при таких витратах озону їх утворення може перебігати за схемою:



Отримані пероксиди при кімнатній температурі досить стійкі, термічний розклад їх стає помітним лише при температурах вище 30⁰С. З підвищенням температури швидкість термічної деструкції зростає, в системі з'являються аліфатичні спирти, альдегіди та кислоти [7].

Таким чином, отримані експериментальні дані свідчать про окиснення 3-ацетиламінотолуолу озоном в оцтовому ангідриді за двома напрямками:



При цьому, переважною є реакція (2).

Швидкість, селективність і склад продуктів озонування 3-ацетиламінотолуолу в оцтовому ангідриді залежать від температури (рис.2). З її ростом вміст пероксидів стає меншим (рис.2б), це можна пояснити їхньою термічною нестабільністю. Вихід 3-ацетиламінобензилідендіацетату теж знижується (рис.2в), але зростає вміст відповідної бензойної кислоти (рис.2г), що підтверджує послідовне утворення продуктів реакції і зростання реакційної здатності ацильованого альдегіду з ростом температури.

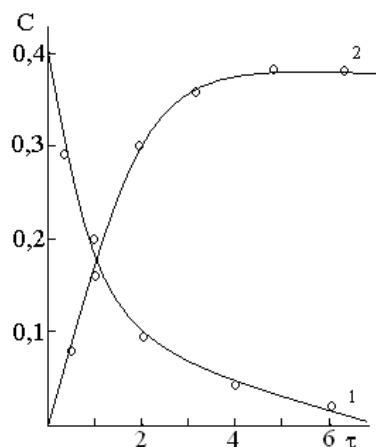


Рис.1 – Залежність концентрації ароматичних сполук (C, моль/л) від часу (τ, час) при ацилюванні 3-амінотолуолу оцтовим ангідридом при 20°C: 1 - витрата 3-амінотолуолу, 2 - нагромадження 3-ацетиламінотолуолу

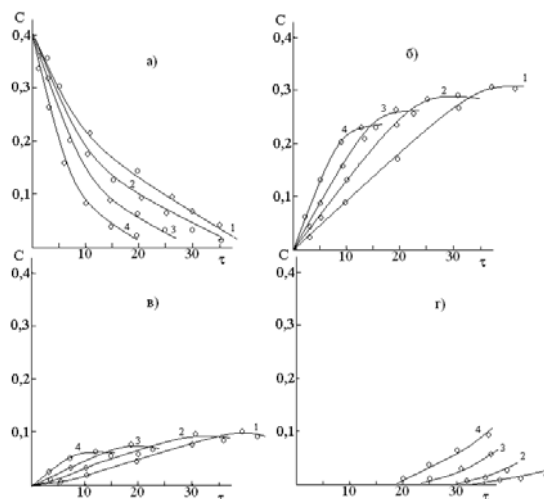


Рис.2 – Залежність концентрації ароматичних сполук (C, моль/л) від часу (τ, час) при окисненні 3-ацетиламінотолуену озonom в оцтовому ангідриді при різних температурах: 1- 10°C; 2- 20°C; 3- 30°C; 4 – 40°C $[ArCH_3]_0 = 0.4$; $[O_3]_0 = 4 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $[H_2SO_4]_0 = 0.8$ моль/л; а) – витрата 3-ацетиламінотолуену; б) – нагромадження пероксидів; в) - нагромадження 3-ацетиламінобензилідендіацетату; г) - нагромадження 3-ацетиламінобензойної кислоти.

Роль сульфатної кислоти, як каталізатора ацилювання показана на рис.3. Зміна її концентрації не впливає на швидкість та селективність окиснення 3-ацетиламінотолуолу, проте впливає на склад продуктів реакції. По мірі збільшення в системі концентрації сульфатної кислоти зростає вміст 3-ацетиламінобензилідендіацетату, а вихід 3-ацетиламінобензойної кислоти є максимальним у відсутності мінеральної кислоти (рис.3), оскільки ацилювання 3-ацетиламінобензальдегіду в цих умовах сповільнюється і він досить швидко перетворюється у 3-ацетиламінобензойну кислоту. Реакція озону з 3-амінотолуеном в оцтовому ангідриді при температурах до 30°C має перший порядок по реагентах:

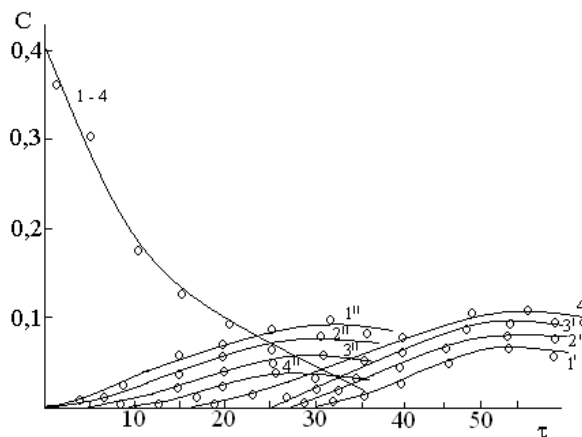


Рис. 3 – Залежність концентрації ароматичних сполук (C, моль/л) від часу (τ, час) при окисненні 3-ацетиламінотолуену озonom в оцтовому ангідриді при різних концентраціях сульфатної кислоти: 1 - 0.8 ; 2 – 0.6; 3 – 0.4; 4 – 0.2 моль/л . Позначки без штриху – витратання 3-ацетиламінотолуену, позначки зі штрихом – нагромадження 3-ацетиламінобензойної кислоти; позначки з подвійним штрихом – нагромадження 3-ацетиламінобензилідендіацетату

$$r_{\text{еф}} = k_{\text{еф}} [ArCH_3]_0 [O_3]_0 \quad (3)$$

Стехіометричний коефіцієнт за озonom не залежить від концентрації реагуючих речовин і близький до 1 (табл.2). Стехіометричний коефіцієнт визначався за співвідношенням $n = \Delta O_3 / \Delta ArCH_3$, де ΔO_3 і $\Delta ArCH_3$ витрати озону та 3-амінотолуену за 60 хв. у молях.

При температурах вище 30⁰С ефективна константа швидкості витрати озону в умовах дослідів лінійно залежить від $([O_3]_0/[ArCH_3]_0)^{0,5}$. Відповідно до даних рис.4

$$k_{\text{ef}} = k' + k''([O_3]_0/[ArCH_3]_0)^{0,5} \quad (5)$$

$$a \quad r_{\text{ef}} = k' [ArCH_3]_0 [O_3]_0 + k'' [ArCH_3]_0^{1,5} [O_3]_0^{0,5} \quad (6)$$

де k' і k'' - експериментальні параметри, залежні від температури.

Таблиця 2 – Залежність стехіометричного коефіцієнта озону від концентрації реагуючих речовин при різних температурах

$t, ^\circ\text{C}$	$([O_3]_0/[ArCH_3]_0)^{0,5} \cdot 10^2$	$n = \Delta[O_3]/\Delta[ArCH_3]$
30	0.5	1.12
	1.8	1.22
	2.7	1.21
	3.6	1.22
40	0.5	1.98
	1.8	2.15
	2.7	2.70
	3.6	3.37
50	0.4	3.67
	1.0	4.10
	1.5	4.78
	2.3	5.80

Складові виразу (5) для швидкості витрати озону свідчать про те, що в умовах дослідів озон витрачається одночасно за неланцюговим іонно-радикальним (реакції 1 і 2) і ланцюговим радикальним механізмом [8]:

$$r''_{\text{oz}} = k'' [ArCH_3]_0^{1,5} [O_3]_0^{0,5} \quad (7)$$

Вираз (6) є типовим для швидкості витрати реагенту, у даному випадку озону, який приймає участь у лімітуючій стадії продовження ланцюгу і стадії його квадратичного обриву [8] ($r_{\text{oz}} = k'' [O_3]_0 r_i^{0,5}$, де $r_i \sim [ArCH_3]_0 [O_3]_0$ – швидкість ініціювання процесу). На наявність ланцюгового механізму при температурі вище 30⁰С також вказує залежність величини стехіометричного коефіцієнта озону від концентрації реагуючих речовин (табл.2).

Неланцюгове окиснення 3-ацетиламінотолуену вказує на те, що озон витрачається за ланцюговим механізмом в реакції не з субстратом, а з іншими сполуками, вірогідніше за все, з продуктами термічного розкладу пероксидів. У зв'язку з цим, звертає на себе увагу той факт, що температура, з якої починається ланцюгове витрачання озону співпадає з початком термічної деструкції пероксидів. Це може свідчити про те, що ланцюгове витрачання озону є результатом його реакції з низькомолекулярними

кисневмісними сполуками -продуктами термічного розкладу пероксидів, наприклад, аліфатичними альдегідами, які, як правило, окиснюються за ланцюговим механізмом [8].

Висновки

Таким чином, показано, що у розчині оцтового ангідриду 3-амінотолуен реагує з озоном як 3-ацетиламінотолуен. Цей факт пояснюється високою швидкістю ацилювання

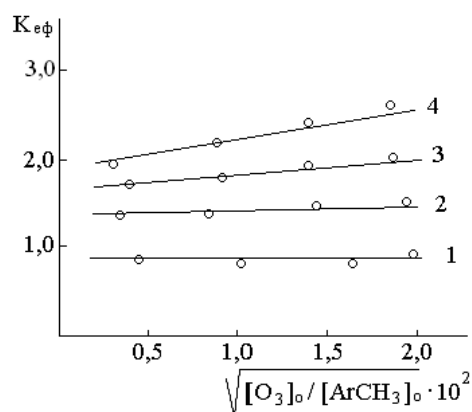


Рис. 4 – Залежність ефективної константи швидкості від початкової концентрації озону і 3-ацетиламінотолуену при температурах 20 (1), 30 (2), 40 (3), 50⁰С (4)

оцтовим ангідридом. В присутності сульфатної кислоти реакція з озоном переважно перебігає за ароматичним кільцем з утворенням аліфатичних пероксидів. Окиснення за метильною групою призупиняється на стадії утворення 3-ацетиламінобензилового спирту (6.5%) і 3-ацетиламінобензальдегіду (19.5%). Окиснення 3-амінотолуену озоном в оцтовому ангідриді перебігає за іонно-радикальним механізмом, відповідно до якого 3-ацетиламінотолуен окиснюється за неланцюговим механізмом, а озон витрачається за двома механізмами: при температурі до 30°C переважним є неланцюгове витрачання його в реакції з субстратом, а при підвищених температурах стає помітним ланцюгове витрачання озону в реакції з продуктами термічної деструкції пероксидів.

Список літератури: 1. Галстян А. Г. Окисление 4-аминотолуола озоном в растворе уксусной кислоты [Текст] / А. Г. Галстян, А. С. Бушуев, Р. Н. Соломанный // Журн. прикл. хим. - 2008. – Т. 81. – Вып. 7. – С. 1120 – 1123. 2. Галстян А. Г. Кінетика окиснення 4-амінотолуолу озоном у рідкій фазі [Текст] А. Г. Галстян, А. С. Бушуєв, Р. М. Соломаний, Г. А. Галстян // Укр. хим. журн. – 2008. – Т. 74. – № 7. – С. 57-61. 3. Ингольд К. Теоретические основы органической химии [Текст] / К. Ингольд. - М.: Мир, 1973. – 1054с. 4. Седых А. А. Окисление п-крезола озоном в уксусном ангидриде [Текст] / А. А. Седых, А. Г. Галстян // Журн. прикл. хим. - 2006. - Т. 79 - № 1. - С. 125-128. 5. Разумовський С. Д. Озон та його реакції з аліфатичними сполуками [Текст] / С. Д. Разумовський, Г. А. Галстян, М. Ф. Тюпало. – Луганськ: СДУ, 2000. - 318с. 6. Bailey P. S. Ozonation in organic chemistry. Nonolefinic Compounds [Text] / P. S. Bailey. - New-York; London: Academic Press, 1982. – Vol. 2. – 497p. 7. Эмануэль Н.М. Успехи химии органических перекисных соединений и аутоокисления [Текст] / Н.М. Эмануэль. - М.: Химия, 1969. – 496с. 8. Комиссаров В. Д., Комиссарова И. Н., Фаррахова Г. К., Денисов Е.Т. Цепное разложение озона в системе $\text{CH}_3\text{CHO}-\text{O}_3-\text{O}_2$ [Текст] / В. Д. Комиссаров, И. Н. Комиссарова, Г. К. Фаррахова, Е. Т. Денисов // Изв. АН СССР. Сер. хим. – 1979. - № 6. - С. 1205-1212.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 541.127: 542.943

Кінетика та продукти окиснення 3-амінотолуену озоном у рідкій фазі/ А. Г. Галстян // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 66 (972). – С. 93-98. – Бібліогр.: назв.

Изучено жидкофазное окисление 3-аминотолуола озоном в уксусном ангидриде в присутствии серной кислоты. Показано, что в этих условиях окисление протекает преимущественно по ароматическому кольцу субстрата с образованием алифатических пероксидов (72.0%). Среди продуктов окисления по метильной группе идентифицированы 3-ацетиламинобензилацетат (6.5%) и 3-ацетиламинобензилдиендиацетат (19.5%).

Ключевые слова: окисление, 3-аминотолуол, озон, серная кислота.

Studied the liquid phase oxidation of 3-aminotoluene with ozone in acetic anhydride in the presence of sulfuric acid. It is shown that in these conditions the oxidation takes place mainly on the aromatic ring of the substrate to form aliphatic peroxides (72.0%). The products of oxidation of the methyl group identified 3-aceticaminobenzylacetat (6.5%) and 3-aceticaminobenzylidienacetat (19.5%).

Keywords: oxidation, 3-aminotoluent, ozone, sulfuric acid.

УДК 656.11

О. В. ДЕНИСЕНКО, канд. техн. наук, доц., ХНАДУ, Харків;
Н. С. БУБИНІНА, магістр, ХНАДУ, Харків

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНКИ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ

Визначено основні методи та підходи до оцінки пропускної здатності вулично-дорожньої мережі. Проведено аналіз цільових функцій, обмежень існуючих моделей оцінки пропускної здатності вулично-дорожньої мережі та особливостей їх використання для різних умов та підходів.

© О. В. ДЕНИСЕНКО, Н. С. БУБИНІНА, 2012

Ключові слова: пропускна здатність, вулично-дорожня мережа, теорія графів, частковий розріз, розподіл потоків, матриця кореспонденцій.

Вступ

Різке зростання кількості автомобілів призводить до збільшення інтенсивності руху на дорогах, що в свою чергу спричиняє затори та зростання кількості дорожньо-транспортних пригод. Виходячи з цього виникає потреба в оцінці стану вулично-дорожньої мережі (ВДМ), яку можливо здійснити за допомогою такого показника як пропускна здатність (ПЗ) ВДМ.

Відомо декілька методів оцінки та розрахунку ПЗ окремих елементів ВДМ (перегонів, перетинів та розв'язок різних типів), які детально висвітлено в спеціальній літературі [1]. Але ефективність функціонування транспортної мережі не може бути в повній мірі оцінена лише за окремими характеристиками структурних елементів. ПЗ окремих елементів ВДМ можливо оцінити за допомогою багатьох критеріїв, які дозволяють робити висновки щодо покращення дорожньої ситуації. Інша ситуація складається з оцінкою всієї транспортної мережі, бо методи оцінки ПЗ ВДМ недостатньо вивчені. Досі ще не існує єдиного підходу до визначення терміну ПЗ ВДМ і як наслідок цього, немає загальноприйнятих методик її кількісної оцінки.

Основна частина

Погляди містобудівників і фахівців в області організації дорожнього руху (ОДР) щодо визначення ПЗ мережі суттєво відрізняються. Це призвело до принципово відмінних моделей кількісної оцінки, в основі яких покладено: щільність ВДМ; ємність ВДМ; теорія графів; розподіл транспортних потоків по ВДМ.

Деякі фахівці-містобудівники формували кількісну оцінку ПЗ ВДМ використовуючи нормативні показники щільності ВДМ в поєднанні з певними орієнтовними значеннями ПЗ магістральних вулиць різних категорій [2,3]. Передбачалося, що дотримання нормативних значень щільності ВДМ дозволяє забезпечити достатню ПЗ [4].

Щільність ВДМ визначається як відношення сумарної довжини вулиць і доріг L до розміру території F , що розглядається:

$$S = \frac{L}{F}. \quad (1)$$

Характеристики щільності та завантаження рухом ВДМ розглянуті в роботах О.В. Сігаєва, С.А. Ваксмана, Т.А. Глухарєвої, Р.В. Горбанєва, Р.Е. Любарського та інших авторів. Як правило, предметом досліджень були статистичні дані, які включали наступні показники: щільність ВДМ; довжина вулиць і доріг у розрахунку на одного мешканця; кількість зареєстрованих транспортних засобів на 1 км вулиць і доріг; річний пробіг транспортних засобів на 1 км вулиць і доріг та ін.

Ряд досліджень присвячений встановленню зв'язку між показниками щільності і ПЗ. Так, для центрів міст М.Г. Крестмейном [2] запропоновано відносний показник λ , що є визначається по вхідній потужності магістралей N (авт./год) та площі центральної частини міста S (га):

$$\lambda = \frac{N}{S}. \quad (2)$$

Методика запропонована Д.Р. Гришкявичене [3] оцінює стан ВДМ на основі показників щільності смуг проїжджих частин (відношення сумарної довжини смуг руху до території, км смуг/км²) та рівня організації руху (кількість приведених автомобілів, яку може пропустити смуга руху на перегоні або перетині за умови дотримання безпеки руху).

Найважливіший недолік показника щільності і його модифікацій - відсутність будь-якої конкретної інформації по тих чи інших ділянках ВДМ. Нормування щільності

магістральної ВДМ необхідно, перш за все, для забезпечення нормативної доступності ліній громадського транспорту.

Інші автори для оцінки ПЗ ВДМ пропонують використовувати показник ємності ВДМ - максимальна кількість транспортних засобів, що може перебувати на цій території. Серед них можна виділити метод запропонований О.М. Криловою [5], де визначається довжина колони транспортних засобів L , що входять і виходять з центральних районів:

$$L = \frac{Ndl}{100V}, \quad (3)$$

де N - кількість транспортних засобів, що входять і виходять з центральних районів (перетинають кордони центру);

d - динамічний габарит автомобіля (розрахований для середнього значення швидкості повідомлення V);

l - середня довжина поїздки;

V - середня швидкість сполучення на ВДМ центральних районів.

Як і в попередньому методі результати цієї оцінки не містять інформацію про стан окремих ділянок мережі.

Розглянуті вище показники щільності і ємності мережі дають лише загальну оцінку стану мережі та не містять інформації про вичерпання ПЗ будь яких елементів ВДМ. Тому на практиці ОДР вони не отримали широкого застосування.

Велика кількість робіт для оцінки ПЗ різних мереж присвячена питанням моделювання розподілу транспортних потоків та застосування теорії графів [6-10].

Теорія графів має багато технічних програм, у тому числі оцінку ПЗ мереж різної природи (електричних, гідравлічних, інформаційних і т.і.). Традиційно така оцінка заснована на поняттях максимального потоку і мінімального розрізу, згідно з яким величина максимального потоку дорівнює ПЗ мінімального розрізу мережі.

У роботі [7] розглянуто використання розрізів та особливо підкреслюється, що матриця кореспонденцій і розподіл потоків конкретної ВДМ завжди тісно пов'язані з характеристиками мережі (тобто ПЗ її елементів), розміщенням об'єктів масового тяжіння, розселенням. У цьому контексті ПЗ ВДМ визначається як максимальний потік при заданій матриці кореспонденцій і ПЗ всіх елементів мережі (тобто ребер графа мережі). ПЗ розрізу оцінюється підсумовуванням ПЗ ребер, що проходять через розріз. Величина потоку, що проходить через розріз, визначається сумою потоків, якими обмінюються розташовані по різні сторони розрізу початкові і кінцеві пункти кореспонденцій. Процедура оцінки передбачає послідовний перебір розрізів з виявленням розрізу з низькою ПЗ або найбільш завантаженого розрізу.

ПЗ мережі оцінюється мінімальним значенням $T(K_i)$:

$$T_m = \min_i \{T(K_i)\}, \quad (4)$$

де $T(K_i)$ – елементи вектора значень ПЗ розрізів T .

Перевагою розглянутого підходу до оцінки ПЗ є його простота (якщо не розглядати алгоритми побудування та перебору розрізів). Для незначної за розмірами мережі не складно зробити перебір всіх її розрізів, кількість яких теоретично досягає значення $n(n-1)/2$, де n – кількість вершин графа. Трудомісткість оцінки різко зростає з розміром мережі. Для зменшення трудомісткості оцінки в роботі [7] запропонували розглядати лише деяку кількість найбільш важливих розрізів мережі (часткових розрізів).

ПЗ часткового розрізу і величина потоку через нього визначаються, як і у випадку повного розрізу. На думку цих авторів найбільш важливою умовою застосування методу часткових розрізів є задана початкова матриця кореспонденцій. Друга обов'язкова

складова вихідних даних - інформація про розподіл потоків. В роботі [7] припускали три можливі випадки оцінки розподілу потоків по маршрутах:

- задані шляхи проходження для будь-якого з потоків заданої матриці кореспонденцій. Розподіл всіх потоків матриці кореспонденцій визначено за допомогою моделі розподілу потоків;
- задані шляхи проходження для будь-якого з потоків заданої матриці кореспонденцій. На відміну від першого випадку визначено реальний розподіл потоків;
- використання будь-якого шляху проходження будь-яким з потоків заданої матриці кореспонденцій має однакову вірогідність.

Перший і третій випадки можливо використати для оцінки ПЗ ВДМ в перспективі, при очікуваному зростанні інтенсивності руху. Другий випадок більше відповідає оцінці поточного стану мережі.

Даний метод має наступні недоліки: представлення ВДМ за допомогою неорієнтованого графа виконується з значним спрощенням, не розглядається відмінність ПЗ перегонів вулиць за напрямками; результати оцінки ПЗ ВДМ не завжди узгоджується з даними о функціонуванні існуючих ВДМ (ділянки вичерпання ПЗ можуть не співпадати з отриманими розрізами).

В монографії Г.М. Зубкова [6] розглянуто теорему про максимальний потік в задачах проектування ВДМ. Кількісною оцінкою є максимум функції (максимальний сумарний потік, який забезпечується мережею щодо всіх кореспондентських пунктів мережі одночасно):

$$\max \sum_{i,j} F_{ij}, \quad (5)$$

де F_{ij} - потік, що може реалізувати мережа між двома кореспондуючими пунктами мережі i та j .

Основна складність такого підходу - трудомісткість перебору всіх розрізів графа. Тому Г.М. Зубков пропонував використовувати опис обмежень ПЗ у вигляді системи лінійних нерівностей і вирішувати звичайне завдання лінійного програмування (тобто кожне ребро і потоки на ньому представляються у формі нерівності).

В роботі [7], на відміну від Г. М. Зубкова, відзначили застосування методів лінійного програмування, але визнали їх придатними лише для невеликих мереж. Разом з тим підхід до оцінки ПЗ, запропонований Г.М. Зубковим, легко реалізується шляхом використання стандартних математичних пакетів лінійного програмування, які дозволяють працювати з великими матрицями.

В моделях розподілу потоків в якості основних гіпотез використовуються принципи Водропа. В цих моделях стан мережі отримав назву стану рівноваги (стан при якому потоки розподіляються по мережі таким чином, при якому жоден учасник руху не може зменшити час своєї поїздки навіть при зміні маршруту), а відповідні йому потоки рівноважними (у англomовній спеціальній літературі використовується термін «user equilibrium»(UE)). Основними складовими моделей розподілу потоків є формалізоване представлення ВДМ в вигляді графу, цільова функція (вид визначається гіпотезою поведінки учасників руху та залежностями, які описують вартість проїзду по дузі як функцію інтенсивності руху) та обмеження задачі.

Недоліком цього методу є складність оцінки рівноважних потоків, обумовлена великою розмірністю задачі (кількість змінних, що оцінюються, кількість дуг та вершин мережі) та вид залежностей, включених в цільову функцію. Тому часто час затримки на перехресті не включають в цільову функцію, а залежність часу проїзду від інтенсивності визначають апроксимацією або на основі статистичної інформації.

При описі ВДМ з визначеними спрощеннями, тобто розгляді перетинів в агрегативній формі, для моделювання рівноважного стану використовується функція наступного виду:

$$\min \sum_{i,j} \int_0^{x_{ij}} S_{ij}(x) dx, \quad (6)$$

при наступних обмеженнях:

$$\sum_k y_{abk} = D_{ab} \quad \text{для всіх } a \text{ та } b; \quad (7)$$

$$x_{ij} = \sum_{abk} d_{ijk,ab} \cdot y_{abk} \quad \text{для всіх } i \text{ та } j, \quad (8)$$

де x_{ij} – потік по дузі a ;

$S_{ij}(x)$ – вартість поїздки по ij ;

D_{ab} – кількість кореспонденцій між зонами a та b ;

y_{abk} – кількість кореспонденцій між зонами a та b , що використовують шлях k ;

$d_{ijk,ab} = 1$ якщо шлях k із зони a у зону b включає дугу ij , 0 в іншому випадку.

На відміну від більшості досліджень з моделювання та практичної реалізації транспортних потоків в країнах СНД, які орієнтовані на моделювання пасажиропотоків, більшість зарубіжних робіт розглядають детальний опис вузлів ВДМ у вигляді алгоритмів і програм.

Фахівцями університету Кіото [7] запропонована модель UE для оцінки ПЗ ВДМ, що враховує ПЗ вузлів. Високий ступінь деталізації моделі досягнуто включенням в опис мережі не тільки перегонів, але й пересічень, представлених у вигляді вершин і дуг. ПЗ дуг враховується через вартість проїзду по дугам перегонів $S_a(x)$ та пересічень $T_n(y)$.

Цільова функція моделі має наступний вигляд:

$$\min \sum_a \int_0^{V_a} S_a(x) dx + \sum_n \int_0^{Q_n} T_n(y) dy, \quad (9)$$

при наступних обмеженнях:

$$\sum_m h_{mij} = X_{ij} \quad \text{для всіх } i \text{ та } j; \quad (10)$$

$$V_a = \sum_m \sum_i \sum_j d_{amij} \cdot h_{mij} \quad \text{для всіх } a; \quad (11)$$

$$Q_n = \sum_m \sum_i \sum_j d_{nmij} \cdot h_{mij} \quad \text{для всіх } n; \quad (12)$$

$$h_{mij} \geq 0 \quad \text{для всіх } m, i \text{ та } j, \quad (13)$$

де V_a – потік на дузі a ;

Q_n – потік в вершині графу n ;

$S_a(x)$ – функція, що характеризує час проїзду по дузі a ;

$T_n(y)$ – функція, що характеризує час затримки в вершині графу n ;

X_{ij} – потік з початкової вершини i до кінцевої вершини j ;

h_{mij} – потік між початковою та кінцевою вершинами i та j , що використовує шлях m ;

$d_{amij} = 1$ якщо шлях m включає дугу a , 0 в іншому випадку;

$d_{nmij} = 1$ якщо шлях m включає вершину n , 0 в іншому випадку.

В публікаціях авторів [11] модель враховує не лише вплив інтенсивності руху на вартість поїздки, а й ПЗ дуг з розділенням типів перетинів на регульовані та нерегульовані. Оптимальному розподілу потоків відповідає мінімум функції:

$$Z = \sum_{(k,l) \in L} \int_0^{Q_{kl}} c_{kl}(q) dq, \quad (14)$$

де k, l – індекси дуги, що направлена з вершини k в вершину l ;

L – впорядкований набір дуг;

Q_{kl} – ПЗ дуг;

$c_{kl}(q)$ – вартість проїзду по дузі.

Модель спеціалістів [11] до моделювання рівноважного стану має багато подібних положень з методами моделювання розподілу потоків, що лежать в основі ряду сучасних пакетів програм. Широко використовується пакет програм SATURN, який оцінює рівноважний розподіл за допомогою принципу Водропа, використовуючи цільову функцію аналогічну функції (5):

$$Z = \sum_a \int_0^{V_a} c_a(v) dv, \quad (15)$$

де a – потоки, що відповідають умові рівноваги за Водропом.

В якості критерію перевірки отримання рівноважного стану мережі використовується критерій Дельта-функція «Delta or gap function».

Модель запропонована спеціалістами [11] та SATURN мають однаковий алгоритми покрокової процедури моделювання розподілу потоків, але вони мають суттєві відмінності. Формально SATURN розглядає ситуацію, коли потоки перевищують ПЗ, але в цій програмі значення ПЗ дуг включені в процедуру оцінки часу поїздки, як і в моделях (6) та (9).

Огляд спеціальних публікацій дозволяє зробити висновок, що в моделях розподілу потоків обмеження в вигляді значень ПЗ використовувались рідко. Згідно з [12] моделювання рівноважного розподілу потоків необхідно проводити з метою отримання такого стану мережі, при якому сумарні потоки на будь якій ділянці ВДМ досягнуть його ПЗ. Для оцінки розподілу потоків h_{mij} , при якому в мережі з'являється хоча б один затор запропоновано залишити цільову функцію (9) та обмеження (10), а значення потоків на дузі або вершини (обмеження (11) та (12)) замінити значеннями ПЗ:

$$\sum_m \sum_i \sum_j d_{kmij} \cdot h_{mij} \leq b_k \quad \text{для всіх } k; \quad (16)$$

$$\sum_m \sum_i \sum_j d_{nmij} \cdot h_{mij} \leq b_{nk} \quad \text{для всіх } n, k, \quad (17)$$

Де b_k – ПЗ дуги k ;

b_{nk} – ПЗ дуги k в вершині графу n .

Якщо цей стан не досягнуто, необхідно розглядати збільшення кореспонденцій x_{ij} та знову проводити оцінку рівноважного розподілу доки для одного або декількох k не буде досягнена рівності умов (16) та (17). Це суттєво збільшує обсяг розрахунків в порівнянні з звичайною оцінкою рівноважного розподілу.

А.Ю. Михайлов [13] запропонував модель оцінки ПЗ ВДМ і вигляді задачі лінійного програмування та з цільовою функцією у вигляді суми потоків, що обслуговуються мережею. Одержаний в результаті розподіл потоків не є рівноважним. Автор [13] задав ВДМ у вигляді орієнтованого графу, що включав детальне представлення як перегонів вулиць, так і перетинів і розв'язок у вигляді вершин та дуг. Замість центроїдів, в яких зароджуються та поглинаються кореспонденції, використовується поняття початкових та кінцевих вершин кореспонденцій, які мають свою індексацію, яка відрізняється від загальної нумерації вершин мережі.

ПЗ ВДМ визначається як максимальна кількість кореспонденцій, що може обслужити мережа при відомих значеннях ПЗ або допустимого завантаження дуги k (c_k) та заданій гіпотезі зміни матриці кореспонденцій T :

$$\max \sum_i \sum_j \sum_p x_{ij,p}, \quad (17)$$

при лінійних обмеженнях в вигляді нерівності, що враховує ПЗ дуг:

$$\sum_i \sum_j \sum_p d_{p,k} \cdot x_{ij,p} \leq c_k \quad \text{для всіх } k, \quad (18)$$

та наступній умові:

$$x_{ij,p} \geq 0, \quad (19)$$

де $x_{ij,p}$ – частина потоку з початкової вершини i до кінцевої вершини j , яка використовує шлях (маршрут) руху p ;

$d_{p,k} = 1$ якщо маршрут p проходить через дугу k , 0 – в іншому випадку.

Результатом такої оцінки ПЗ ВДМ є значення потоків, при яких вичерпана ПЗ однієї чи декількох ділянок ВДМ.

Висновок

Наведений аналіз методів, що базується на визначенні ділянок вичерпання ПЗ та її резервів дозволяє зробити висновки, що ці методи відрізняються широкою різноманітністю. Це положення визначається рядом наступних факторів: специфікою топології мережі згідно теорії графів; обраними критеріями розподілення транспортних потоків по мережі, яке в більшості випадків задається існуючою матрицею кореспонденцій. Тому, визначення ПЗ за методами розрізів не гарантує того, що дільниці вичерпання ПЗ за теоретичними розрахунками і в реальній мережі будуть співпадати. В цілому напрямом ефективного застосування цієї групи методів як рекомендації є ескізне проектування ВДМ.

Аналіз праць багатьох фахівців-містобудівельників дозволяє зробити ще один принциповий висновок, що ПЗ мережі не пов'язана з високими показниками щільності ВДМ і в ряді випадків визначається суттєвою нерівномірністю розподілу транспортних потоків по мережі міста.

У зв'язку з цим, ряд авторів вважає доцільним визначення ПЗ ВДМ на основі заданої матриці кореспонденцій, а однією з задач проектування ВДМ буде її максимальне наближення до існуючої матриці кореспонденцій і реальному розподілу транспортних потоків.

Оптимальне завантаження мережі та використання ПЗ ВДМ повною мірою є складним та актуальним питанням.

Список літератури: 1. Живоглядов В. Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков. - Ростов-н./Д.: Изв. Вуз. Сев.- Кавк. регион. Техн. науки, 2005. – 1082 с. 2. Крейтмейн М. Г. Исследование систем магистральных улиц центров крупных городов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1980. – 17 с. 3. Гришквяючене Д. Р. Критерий полосности и уровня организации движения при оценке пропускной способности улично-дорожных сетей городов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1980. – 22 с. 4. Містобудування. Планування та забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92*. – [Чинний від 19.03.2002]. – К.: Вид-во стандартів, 2002. – 92 с. – (Національний стандарт України). 5. Крылова О. Н. Методы расчета емкости сети магистральных улиц и автостоянок в центральном районе крупного города (на примере Ленинграда): автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Л., 1978. – 20 с. 6. Зубков Г. Н. Применение моделей и методов структурного анализа систем в градостроительстве. – М.: Стройиздат, 1984. – 152 с. 7. Tsuna Sasaki. A road Network Design Model Considering Node Capacity / Tsuna Sasaki, Yasuo Yaskura, Masaashi Kawasaki. – Mem. Fac. Eng. Kyoto Univ. 1987. – Vol. 49, – N1, – 147 – 20 p. 8. Глик Ф. Г. Методы прогнозирования загрузки сети магистральных городов / Глик Ф. Г. // Схемы и проекты организации и движения в городах в условиях самоуправления территорий: тез. докл. научно-практ. семинара. – Свердловск: Комвакс, 1991. – с. 24-27. 9. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт. 1972. – 424 с. 10. Иносэ Х. Управление дорожным движением / Иносэ Х., Хамада Г. Под. ред. М. Я. Блинкина; Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с. 11. Cascetta E. Dinamic Estimatos of Origin-Destination Matrices Using Traffic Counts / Cascetta E., Inaudi D. and Manquis G. // Transportation Science, 1993. - Vol. 27. – N4. – P. 363-373. 12. Капитанов В. Т. Управление транспортными потоками в городах / Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с. 13. Михайлов А. Ю. Научные основы проектирования улично-дорожных сетей: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – М., 2004. – 38 с.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

Аналіз основних підходів до оцінки пропускної здатності вулично-дорожньої мережі/ О. В. Денисенко, Н. С. Бубиніна // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 98-105. – Бібліогр.:13 назв.

Определены основные методы и подходы к оценке пропускной способности улично-дорожной сети. Проведен анализ целевых функций, ограничений существующих моделей оценки пропускной способности улично-дорожной сети и особенностей их использования для различных условий и подходов.

Ключевые слова: пропускная способность, улично-дорожная сеть, теория графов, частичный разрез, распределение потоков, матрица корреспонденций.

The main methods and approaches to the estimation of the road network capacity are defined. Objective functions, constraints of the existing models of the road network capacity and features of their use for various conditions and approaches were analysed.

Keywords: capacity, the road network, graph theory, partial cut, flow distribution, correspondence matrix.

УДК 621.9.025.77

П. А. КОЗУБ, канд. техн. наук, керівник гуртка, КЗ ХЦДЕД «Будинок учителя» Харківської обласної ради, Харків;

О. Я. ЛОБОЙКО, д-р техн. наук, проф., зав. каф., НТУ «ХПІ»;

Т. А. ДОВБІЙ, аспірант, НТУ «ХПІ»;

А.М. РЕЗНІЧЕНКО, канд. техн. наук, асист., НТУ «ХПІ»;

Л. М. БОНДАРЕНКО, науковий співробітник, НТУ «ХПІ»;

А. О. ЛАВРЕНКО, канд. техн. наук, с. н. с., НТУ «ХПІ»;

С. М. КОЗУБ, канд. техн. наук, асист., ХНМУ, Харків

КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ НА ОСНОВІ МЕТАЛІЧНОГО НІКЕЛЮ ТА ГЕКСАГОНАЛЬНОГО НІТРИДУ БОРУ (HBN)

Представлені дослідження процесу хімічного нікелювання гексагонального нітриду бору, запропоновано рішення проблеми його поганої змочуваності. Наведені результати випробувань одержаного композиційного матеріалу в зв'язці на працездатність алмазних відрізних кругів.

Ключові слова: гексагональний нітрид бору, нікелювання, змочуваність, етиловий спирт, хімічне відновлення.

Вступ

Одним із перспективних матеріалів для виготовлення абразивного і ріжучого інструменту є гексагональний нітрид бору (HBN) [1], оскільки володіє рядом важливих характеристик: високою інертністю до більшості хімічних середовищ і матеріалів, термостійкістю в окислювальному середовищі, високими антифрикційними властивостями, він нетоксичний, зносостійкий, не плавиться до температури 3000°C. HBN представляє собою біло-сірий порошок, який має таку ж будову кристалічної решітки, як і графіт. У даний час гексагональний нітрид бору використовується при формуванні жаростійких покриттів у авіа- та ракетобудуванні, для одержання кубічного нітриду бору, а також він є одним із найбільш популярних змащувальних та футерувальних матеріалів.

Для закріплення гексагонального нітриду бору на робочій поверхні обладнання чи в зв'язці інструменту доцільно його покривати металом, завдяки чому підвищується

© П. А. КОЗУБ, О. Я. ЛОБОЙКО, Т. А. ДОВБІЙ, А. М. РЕЗНІЧЕНКО,
Л. М. БОНДАРЕНКО, А. О. ЛАВРЕНКО, С. М. КОЗУБ, 2012

ефективність і термін експлуатації обладнання та інструменту [2]. Найбільш раціонально вкривати HBN металічним нікелем, оскільки він не окислюється в атмосферних умовах при кімнатній температурі, має високу адгезійну здатність, жаростійкість, велику хімічну стійкість у різноманітних агресивних середовищах і високу міцність абразивного покриття [3]. Існує декілька способів нікелювання діелектричних матеріалів, яким є нітрит бору: механічні, хімічні, фізичні. Найпоширенішим серед них є метод хімічного відновлення металічного нікелю із водних розчинів солей ніколу натрію гіпофосфітом, оскільки він є більш дешевим, характеризується високим ступенем продуктивності і не вимагає складного технологічного обладнання [4].

Мета роботи

Метою даної роботи є дослідження процесу одержання нікельованого порошку гексагонального нітриду бору методом хімічного відновлення металічного нікелю із водних розчинів його солей, а також встановлення впливу добавки отриманого металізованого HBN в зв'язці на працездатність алмазних відрізних кругів.

Експериментальні дослідження

За допомогою знімків, одержаних на скануючому електронному мікроскопі, було проаналізовано вихідну сировину – чистий гексагональний нітрід бору (рис.1). Установили, що частки HBN мають розгалужену, пластинчасту, неправильну форму, розмір їх коливається від 40 мкм до дрібних часток розміром близько 5 мкм. Оскільки для промислового застосування в інструментальній або авіаційній галузях представляють інтерес частки гексагонального нітриду бору розміром більше 40 мкм [5], було вирішено прокласифікувати вихідну сировину HBN на дві фракції: 1 - > 40 мкм, 2 - < 40 мкм. Крупніша фракція у подальшому буде придатною для промислового призначення, а от дрібнішу фракцію потрібно додатково проаналізувати після процесу нікелювання, для встановлення можливості її застосування у промисловості. В

подальшому всі експериментальні дослідження з хімічного нікелювання проводилися окремо для крупної і дрібної фракції.

Нікелювання порошку гексагонального нітриду бору методом хімічного відновлення проводили наступним чином:

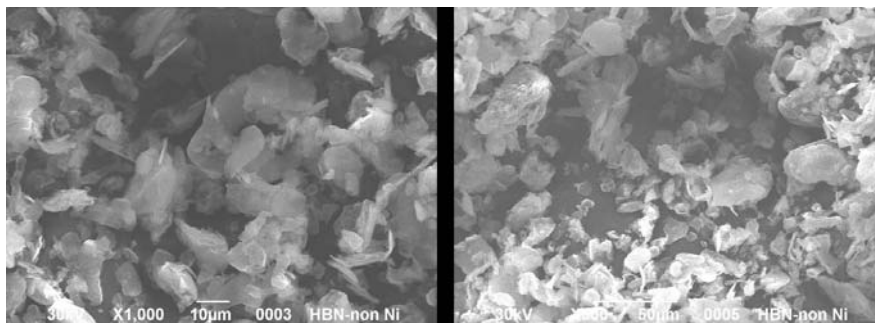


Рис.1 – Вихідна сировина – чистий гексагональний нітрід бору

1) *підготовка поверхні часток порошку HBN – процес активації, який здійснювали у плаві натрій гіпофосфіту ($\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) при температурі 70°C.* Через низьку змочуваність у розчинах, яку має порошок гексагонального нітриду бору, на поверхні робочого розчину утворювалася сіра плівка незмоченого HBN, що не дозволило одержати рівномірне нікелеве покриття та досягти 100 % ефективності процесу нікелювання гексагонального нітриду бору. Було запропоновано попередньо, перед проведенням стадії активації поверхні, змочувати порошок HBN в додатковому компоненті – змочувачі. В ході проведених досліджень встановили, що найбільш оптимальним для використання у якості змочувача HBN є розчин етилового спирту, оскільки він не заважав подальшому протіканню процесу нікелювання, показав найвищу долю вкритих нікелем часток гексагонального нітриду бору, є безпечним з токсикологічної точки зору. У результаті проведеної серії експериментів була одержана

залежність (рис. 2), яка підтвердила, що при проведенні процесу нікелювання без попереднього змочування нітриду бору в етиловому спирті доля невикритих часток порошку HBN складала близько 50 %, в той час як при змочуванні нітриду бору в 5 % об. спирту спостерігається зменшення долі невикритого нікелем HBN до 20 %. Найбільш оптимальною концентрацією спирту для змочування є 10 % об., оскільки доля невикритого нікелем у цьому випадку складала 3 %, а подальше підвищення концентрації етилового спирту до 15-20 % об. привело до незначного зменшення долі невикритого нікелем HBN – 2 %, тому економічно не є доцільним використання таких концентрацій спирту.

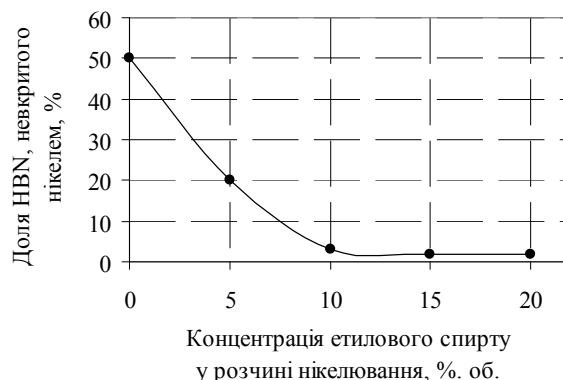


Рис. 2 – Залежність долі невикритого нікелем гексагонального нітриду бору від концентрації етилового спирту у розчині нікелювання

Таким чином, доцільно проводити попереднє змочування порошку гексагонального нітриду бору (при чому як для крупної фракції, так і для дрібної) в розчині етилового спирту, взятого у кількості 10 % об. від загального об'єму робочого розчину, бо воно дозволяє знизити долю невикритих нікелем часток HBN до 3 %, одержати рівномірне нікелеве покриття та суттєво підвищити ефективність процесу нікелювання гексагонального нітриду бору.

2) *хімічне відновлення металічного нікелю із водних розчинів його солей, яке протікає за реакцією 1:*



В якості відновника використовували натрій гіпофосфіт. До робочого розчину нікелювання додавали комплексоутворювач – 25 % водний розчин аміаку, який сприяє утворенню міцного комплексу із сіллю ніколу, з нього набагато краще і ефективніше протікає процес відновлення металічного Ni, ніж із звичайного водного розчину. Був встановлений вплив температури процесу нікелювання на долю часток гексагонального нітриду бору, вкритих нікелем (рис. 3). Оптимальною температурою нікелювання як для більш дрібнішої, так і для більш крупної фракції HBN є 55°C, при якій доля вкритих нікелем часток нітриду бору досягає 98 %. При цьому підвищення температури по різному впливає на долю металізації двох фракцій порошку HBN. Так при проведенні процесу відновлення металічного нікелю на дрібній фракції при підвищенні температури до 80°C доля часток HBN, вкритих нікелем знизилася до 87 %, що пов'язано з високою питомою поверхнею порошку гексагонального нітриду бору, адже розмір його часток складає < 40 мкм, і відповідно з його високою реакційною здатністю.

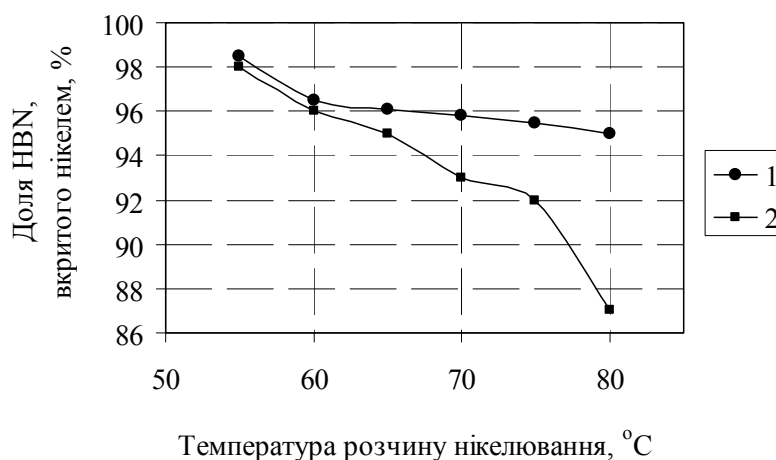


Рис. 3 – Залежність долі порошку гексагонального нітриду бору, вкритого нікелем, від температури, при якій проводили процес нікелювання: 1 – фракція > 40 мкм, 2 – фракція < 40 мкм

Тоді як крупніша фракція - > 40 мкм має дещо нижчу питому поверхню і відповідно реакційну здатність, адже при підвищенні температури до 80°C доля вкритих нікелем часток знизилася до 95 %.

Таким чином ефективніше проводити процес нікелювання HBN при більш низькій температурі – 55°C .

Через високу реакційну здатність порошку гексагонального нітриду бору постало також питання швидкості перемішування процесу нікелювання [6]. Була проведена серія експериментів, яка показала (рис. 4), що для крупнішої фракції оптимальною швидкістю перемішування є 120 об/хв., при якій доля вкритих нікелем часток HBN склала 99,5 %, в той час як для дрібнішої фракції така ж доля вкритих нікелем часток HBN досягається при 80 об/хв. Це підтвердило, що фракція < 40 мкм дійсно має більшу реакційну здатність, адже при підвищенні швидкості перемішування доля вкритих нікелем часток HBN знижувалася, бо реакційна суміш при цьому дуже вспінювалася і металічний нікель, відновлюючись, не встигав осідати на поверхню гексагонального нітриду бору, і відновлювався просто в об'єм робочого розчину. В ході проведення експериментів були також встановлені оптимальні концентрації солі ніколу та натрію гіпофосфіту, які склали 200 г/л. Хімічне відновлення металічного нікелю відбувалося порційним додаванням до робочого розчину натрій гіпофосфіту по 10 мл, через кожні 5 хвилин. Процес проводили до повного знебарвлення розчину нікелювання, після чого робочий розчин зливали, а готовий матеріал промивали та висувували.



Рис.4 – Залежність доли порошку гексагонального нітриду бору, вкритого нікелем, від швидкості перемішування: 1 – фракція > 40 мкм, 2 – фракція < 40 мкм

Було зроблено знімки одержаної нікельованої дрібної фракції HBN (рис.5), із яких видно, що розмір її часток у середньому складає 30-40 мкм, при цьому частки розміром до 10 мкм практично не продиляються. Це говорить про те що, застосовуючи метод хімічного нікелювання гексагонального нітриду бору, можна одержати агломерати з розміром часток, які є придатним для промислового застосування.

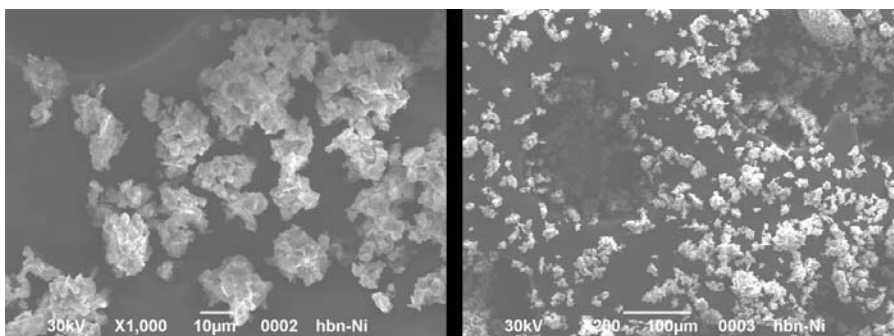


Рис. 5 – Кінцевий продукт: нікельований гексагональний нітрид бору (вихідна фракція - < 40 мкм)

У подальшому були проведені випробування одержаного нікельованого гексагонального нітриду бору (або просто нібону – відсоток нікелю у кінцевому продукті склав 80 % мас.), метою яких було встановлення впливу добавки нібону в зв'язці на працездатність алмазних відрізних кругів [7]. Виготовляли 3 круги 1А 1R 200 Granite наступного складу:

- а) зв'язка М-0403 – тестова зв'язка для обробки граніту;
- б) зв'язка М-0403+2%НВН (гексагонального нітриду бору);
- в) зв'язка М-0403+2%НВNNi (нібону).

Проводилися випробування на ріжучу здатність згідно встановленим регламентам та ТУ. Матеріалом для іспиту був граніт токовського місце народження, товщина якого склала 20 мм, у якості обладнання виступав плиткоріз Feida 200. Результати випробувань наведені в таблиці, з яких можна зробити наступний висновок: основна перевага нікельованого гексагонального нітриду бора полягає у забезпеченні стабільної ріжучої здатності зв'язки з відмінними показниками самозаточування. При цьому високі показники самозаточування зв'язки забезпечують стабільно високі показники працездатності алмазного шару за всією його ефективною висотою.

Таблиця – Результати випробувань одержаного нібону

Показник	М-0403	М-0403+ 2% НВН	М-0403+ 2% НВNNi
Потужність різання, см ² /хв	194	180	200
Ресурс роботи круга, м ²	6,8	5	6,2
Ріжуча здатність, %	85	80	100
Здатність до утримання алмазу, %	50	35	50

Висновки

Застосовуючи метод хімічного відновлення нікелю із водних розчинів його солей можна одержати металізований порошок гексагонального нітриду бора, який є придатним для промислового застосування. При цьому, для усунення проблеми низької змочуваності НВН, його необхідно, попередньо, перед проведенням процесу нікелювання, обробляти в розчині етилового спирту. Завдяки такій обробці доля непокритих часток нітриду бора нікелем знижується до 3 %, одержане нікелеве покриття є рівномірним, ефективність процесу нікелювання НВН суттєво підвищується. Промислові випробування одержаного нібону показали, що його доцільно додавати до зв'язки алмазних відрізних кругів, адже він забезпечує стабільну ріжучу здатність зв'язки, проявляючи при цьому відмінні показники самозаточування.

Список літератури: 1. *Гринь, Г. И.* Химическое никелирование сверхтвердых материалов [Текст] / *Г. И. Гринь, П. А. Козуб, Л. В. Мухина, Н. Н. Дробног* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. - № 3(2). - С. 54-57. 2. *Бакуль, В. Н.* Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента [Текст] / *В. Н. Бакуль, Ю. И. Никитин, Е. Б. Верник* – М.: Машиностроение, 1978. - 219 с. 3. *Вишенков, С. А.* Повышение износостойкости деталей химическим никелированием [Текст] / *С. А. Вишенков* – М.: Машгиз, 1978. - 65 с. 4. *Вальсюнене, Я. И.* Нанесение металлических покрытий на неметаллы химическими и электрохимическими способами [Текст] / *Я. И. Вальсюнене* – М. Машиностроение, 1990. - 178 с. 5. <http://www.lm-sgc.ru/nitrydi.htm#nib> 6. *Штербачек, З.* Перемешивание в химической промышленности [Текст] / *З. Штербачек, П. Тауск* – Л.: Химия, 1963. - 416 с. 7. Рабочая методика испытаний лезвийного инструмента из сверхтвердых материалов на работоспособность – ТИ 25206.01402

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 621.9.025.77

Композиційний матеріал на основі металічного нікелю та гексагонального нітриду бору (НВН)/ *П. А. Козуб, О. Я. Лобойко, Т. А. Довбій, А. М. Резніченко, Л. М. Бондаренко, А. О. Лавренко, С. М. Козуб* // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 66 (972). – С. 105-110. – Бібліогр.: 7назв.

Представлены исследования процесса химического никелирования гексагонального нитрида бора, предложено решение проблемы его плохой смачиваемости. Приведены результаты испытание полученного композиционного материала в связке на работоспособность алмазных отрезных кругов.

Ключевые слова: гексагональный нитрид бора, никелирование, смачиваемость, этиловый спирт, химическое восстановление.

Presents the research process of chemical nickel plating Hexagonal Boron Nitride, suggested that the solution to the problem of poor wettability. Results over are brought test of the got composition material in a copula on the capacity of diamond detachable circles.

Keywords: Hexagonal Boron Nitride, nickel plating, wettability, etilovyj alcohol, chemical recovery.

УДК 664.325.002.5

С. А. ГРИНЬ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;

О. Н. ФИЛЕНКО, канд. техн. наук, ассистент, НТУ «ХПИ»;

И. Г. ПОЛЯШЕНКО, студент, НТУ «ХПИ»

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА СТОЙКОСТЬ МАРГАРИНОВОЙ ЭМУЛЬСИИ

В статье рассмотрено влияние параметров перемешивания на стойкость маргариновой эмульсии. Проведены исследования получения эмульсии с применением различных типов перемешивающих устройств. В результате сделаны выводы о наилучшем сочетании параметров.

Ключевые слова: маргарин, стойкость, перемешивание, ленточная мешалка.

Введение

Одной из важнейших частей жиропереработки является производство маргариновой продукции. Изделия маргаринового производства являются ценными пищевыми продуктами. Ассортимент отечественной маргариновой продукции представлен более чем 30 наименованиями. Это столовые маргарины различного назначения, специальные марочные и брусочные маргарины, мягкие маргарины, кулинарные и кондитерские жиры.

В наше время маргарин является высококачественным жиром, изготовленным на основе растительных и животных жиров с добавлением различных компонентов и представляет собой высокодисперсную эмульсию типа «вода–масло» (обратная эмульсия). По калорийности он не уступает сливочному маслу, а по усвояемости организмом человека значительно превосходят его за счет большего содержания полиненасыщенных жирных кислот, которые играют важную роль в обмене веществ.

В последнее время произошло значительное техническое перевооружение предприятий жироперерабатывающей промышленности. Большая часть их оснащена комплексными линиями и установками, внедрены новые технологические операции, более совершенное оборудование, осуществляются комплексная механизация и автоматизация процессов. Это все позволяет достигнуть непрерывности процессов

В связи с ростом потребления маргариновой продукции важной задачей становится улучшение ассортимента и качества продукции.

Качество маргариновой продукции, согласно действующему в нашей стране стандарту (ГОСТ Р 52178–2003), рассматривается как комплекс различных характеристик, определяемых органолептическими и физико–химическими методами.

Большой вклад в изучение различных технологических процессов маргаринового производства внесли ученые нашей страны: Азнаурьян М.П., Аскинази А.И., Варибрус В.И., Восканян О.С., Гринь Т.В., Дорож-кина Т.П., Козин Н.И., Паронян В.Х., Ребиндер

© С. А. ГРИНЬ, О. Н. ФИЛЕНКО, И. Г. ПОЛЯШЕНКО, 2012

П.А., Рогов Б.А., Стеценко А.В., Тер-Минасян Р.И., Товбин И.М., Урум Г.В., Фаниев Г.Г., Хагуров А.А., Чекмарева И.Б., Шмидт А.А. и многие другие.

Цель работы

Целью является исследование влияния параметров перемешивания на стойкость маргариновой эмульсии при использовании различных перемешивающих устройств.

Методика исследований

От качества приготовленной эмульсии зависит эффективность процессов переохладения и кристаллизации, а также качество готового маргарина. В связи с этим необходимы экспериментальные исследования процесса образования маргариновой эмульсии с целью повышения эффективности и совершенствования аппаратного оформления данного процесса.

На характеристики изготавливаемых маргариновых эмульсий, как показывают проведенные исследования, оказывает влияние целый ряд факторов: температура эмульгирования; скорость перемешивания; время перемешивания; тип перемешивающего устройства; способ введения диспергируемой фазы в дисперсионную среду; наличие отражательных перегородок; соотношение параметров перемешивающего устройства и объема аппарата и некоторые другие [1].

В мировой практике было апробировано большое количество методов (принципов) воздействия на диспергируемую среду как механических, так и немеханических с целью получения водно-жировых эмульсий. Самое широкое применение нашел метод получения эмульсий типа «масло–вода» и «вода–масло» с помощью различного рода перемешивающих устройств.

Одной из важнейших технологических и эксплуатационных характеристик маргаринов является стойкость маргариновых эмульсий, поэтому за критерий оценки качества маргариновой эмульсии, получаемой в ходе проводимого эксперимента принимали показатель стойкости маргариновой эмульсии в % выделившегося жира, значения которого определяли в соответствии с действующим стандартом [2].

Стойкость маргариновой эмульсии характеризуется количеством выделившегося жира при ее разрушении за определенный промежуток времени. При производстве маргарина получают эмульсии с концентрацией жира – 60–82% [3].

На процесс приготовления маргариновой эмульсии в производственных смесителях влияет большое количество факторов. В результате тщательного анализа процесса и на основании экспериментальных данных для дальнейших исследований были отобраны доминирующие факторы:

X_1 – частота вращения мешалки (об/мин);

X_2 – время перемешивания фаз (мин);

X_3 – температура образования эмульсии (°C).

Решая поставленную цель исследования процесса приготовления грубой маргариновой эмульсии, была создана экспериментальная лабораторная установка, геометрическое подобие реальному смесителю в масштабе уменьшения 1:10.

Техническая характеристика лабораторной установки:

Время проведения эмульгирования – 20–60 мин.

Тип мешалок – двухлопастные, листовые, рамные, ленточные.

Частота вращения мешалок – 400–1000 об/мин.

Уровень заполнения емкости эмульсией – 115 мм.

В экспериментах по исследованию процесса образования маргариновой эмульсии использовались пять наиболее применяемых типов мешалок: двухлопастные с прямой и наклонной лопастью, листовые, рамные и ленточные.

Маргариновую эмульсию приготавливали на экспериментальной установке по рецептуре маргарина «Сливочный» фасовка в пачки из жировой и водно-молочной фаз, отобранных непосредственно с линии № 2 «Джонсон» в соответствующей пропорции к общему количеству маргариновой смеси: 82 % – жировая фаза; 18 % – водно-молочная фаза. С каждой конфигурацией мешалок (всего 10 типов) проводили факторный эксперимент, состоящий из 8 опытов.

Факторное пространство эксперимента представлено в табл. 1.

Таблица 1 –Характеристика факторного пространства эксперимента по исследованию процесса образования маргариновой эмульсии

Показатели	Кодированное значение	Факторы и их размерность		
		Частота вращения мешалки X_1 , об/мин	Продолжительность перемешивания X_2 , мин	Температура приготовления эмульсии X_3 , °C
Верхний уровень	+	700	60	42
Нулевой уровень	0	550	40	38
Нижний уровень	–	400	20	34
Интервал варьирования		150	20	4

В качестве контрольных отбирали образцы маргариновой эмульсии из уравнильного бачка после смесителя на линии № 2 «Джонсон» по производству фасованного в пачках маргарина. Наблюдалось практически полное расслоение эмульсии, приготовленной на производственных смесителях, величина стойкости колебалась в интервале 75—90% выделившегося жира.

Экспериментальные исследования вначале проводились без отражательных перегородок, однако при увеличении частоты вращения мешалок свыше 400 об/мин наблюдается образование воронки на поверхности приготавливаемой смеси. С увеличением частоты вращения мешалок центральная вихревая воронка становилась глубже, эффективность перемешивания снижалась, что наблюдалось для всех типов мешалок. Поэтому, при увеличении частоты вращения мешалок более 400 об/мин необходимо применение отражательных перегородок, дальнейшие экспериментальные исследования проводились с их использованием.

Обсуждение результатов

Значения стойкости маргариновой эмульсии, полученные в результате многофакторных экспериментов, представлены в табл. 2, где 1-двухлопастная однорядная мешалка с прямой лопастью, 2-двухлопастная двухрядная мешалка с прямой лопастью, 3-двухлопастная однорядная мешалка с наклонной лопастью, 4-двухлопастная двухрядная мешалка с наклонной лопастью, 5- листовая мешалка с шестью отверстиями, 6- листовая мешалка с десятью отверстиями, 7-рамная мешалка с двумя полосами, 8- рамная мешалка с четырьмя полосами, 9-ленточная мешалка с одним витком, 10- ленточная мешалка с двумя витками.

При обработке результатов экспериментов в ходе анализа однородности оценок дисперсий сравнивали полученные значения критерия Кохрена (G) с табличными, на основании чего можно сделать вывод об однородности оценок для показателя стойкости

маргариновой эмульсии при $f=2$, $N=8$ – $G < G_{\text{табл}} = 0,5157$ для всех конфигураций мешалок.

Расчетные значения критерия Стьюдента во всех экспериментах меньше табличного, $t < t_{\text{табл}} = 2,12$, следовательно, для доверительной вероятности $P = 90\%$ значение стойкости получаемой в опытах маргариновой эмульсии находится в пределах доверительного интервала.

Таблица 2 – Средние значения стойкости маргариновой эмульсии

№	Уровни факторов				Среднее значение стойкости эмульсии, % выделившегося жира									
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	X_0	n_m , об/мин X_1	$T_э$, мин X_2	$t_э$, °C X_3										
1	+	–	–	–	70	70	77	75	68	66	68	66	65	64
2	+	–	+	–	68	68	73	73	66	65	65	62	67	66
3	+	+	–	–	76	72	80	79	72	70	72	70	69	69
4	+	+	+	–	76	74	81	80	73	73	70	68	66	62
5	+	–	–	+	63	60	70	72	61	60	60	60	58	58
6	+	–	+	+	55	53	61	60	60	55	55	52	52	50
7	+	+	–	+	59	56	63	63	64	58	57	55	55	53
8	+	+	+	+	69	68	75	72	70	65	63	60	62	60

По результатам проведенных факторных экспериментов построены математические модели процесса образования грубой маргариновой эмульсии по каждому типу мешалок, которые представлены уравнениями регрессии, отражающими зависимость параметра стойкости $C_э$ (% выделившегося жира) от частоты вращения мешалки n_m (об/мин), продолжительности приготовления эмульсии $T_э$ (мин) и температуры образования эмульсии $t_э$ (°C).

В натуральном выражении полученные уравнения регрессии имеют вид:

$$C_э = c_0 + c_1 n_m + c_3 T_э + c_3 t_э + c_{12} n_m T_э + c_{13} n_m t_э + c_{23} T_э t_э + c_{123} n_m T_э t_э,$$

где c_0 – свободный член уравнения; $c_1, c_2, c_3, c_{12}, c_{13}, c_{23}, c_{123}$ – коэффициенты уравнения регрессии.

Завершая статистический анализ полученных математических моделей, сравниваем табличные значения $F_{\text{табл}}$ с расчетным $F_{\text{расч}}$ (для всех экспериментов при $f_1=3$; $f_2=16$ – $F_{\text{табл}} = 3,24$). Во всех случаях $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$, что позволяет сделать выводы об адекватности полученных уравнений регрессии данным экспериментов.

Анализируя данные проведенных экспериментов с применением пяти типов мешалок, можно отметить, что наилучшие значения параметра стойкости маргариновой эмульсии получены для всех типов мешалок при частоте вращения мешалки 400 об/мин, продолжительности перемешивания фаз 60 мин, наличие отражательных перегородок и температуре приготовления эмульсии 42°C. Такое сочетание уровней факторов дает возможность добиться величины стойкости получаемой эмульсии в интервале 50–61% выделенного жира.

Выводы

Экспериментальные исследования модельных водно-жировых смесей и математическая обработка полученных данных при проведении экспериментов по образованию маргариновой эмульсии позволили подтвердить ранее сделанные предположения о том, что на стойкость эмульсии в процессе ее приготовления

наибольшее влияние оказывают факторы – тип мешалки, температура приготовления эмульсии, частота вращения мешалки и продолжительность эмульгирования.

Наилучший результат стойкости маргариновой эмульсии получили при использовании ленточной мешалки, температуре перемешивания +42°C и частоте вращения мешалки – 400 об/мин.

Список литературы: 1. Арутюнян Н. С., Аришева Е. А., Янова Л. И и др. Технология переработки жиров. - М. : Агропромиздат, 1985. - С. 368. 2. ГОСТ 5477-69 «Масла растительные. Методы определения цветности». 3. Бабак В.Г., Неверова Е.А., Чекмарева К.Б. и др. Устойчивость и реологические свойства жироводных эмульсий. Известия вузов, Пищевая технология, 1981, № 5.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 664.325.002.5

Влияние параметров перемешивания на стойкость маргариновой эмульсии / С. А. Гринь, О. Н. Филенко, И. Г. Поляшенко, // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 66 (972). – С. 110-114. – Бібліогр.:3 назв.

У статті розглянуто вплив параметрів перемішування на стійкість маргаринової емульсії. Проведено дослідження отримання емульсії із застосуванням різних типів перемішувачів. У результаті зроблені висновки про найкраще поєднання параметрів.

Ключові слова: маргарин, стійкість, перемішування, стрічкова мішалка.

The influence of the mixing parameters for resistance margarine emulsion is considered in the paper. Investigated of the emulsion with different types of mixing devices. As a result, conclusions about the best combination of parameters.

Keywords: margarine, stability, mixing, ribbon agitator.

УДК 502.174:66.074 - 963

І. С. КОЗІЙ, канд. техн. наук, асистент, СумДУ, Суми;

Л. Л. ГУРЕЦЬ, канд. техн. наук, доц., СумДУ, Суми;

О. П. БУДЬОНІЙ, канд. хім. наук, доц., СумДУ, Суми

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗСІЮВАННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНОГО ПИЛУ В АТМОСФЕРІ ВІД СТАЦІОНАРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗАБРУДНЕННЯ

Розроблена математична модель розсіювання твердих частинок та її розв'язання методом кінцевих елементів з урахуванням дисперсності пилу, яка може бути використана для розрахунку концентрації дрібнодисперсного пилу на заданій відстані від джерела при певній швидкості вітру та заданій потужності джерела.

Ключові слова: дрібнодисперсний пил, забруднення, атмосфера, прогноз розсіювання.

Вступ

Пил є чинником формування екологічної небезпеки в техногенно навантажених регіонах. Серед забруднювачів атмосфери особливе місце займає дрібнодисперсний пил, який розсіюється на значну відстань від джерел забруднення, має фіброгенні властивості і становить значну екологічну небезпеку як для здоров'я людини так і навколишнього середовища.

Тверді частки, особливо дрібнодисперсні, здатні накопичуватися в нижньому шарі атмосфери й переміщуватися на великі відстані. Вони адсорбують з повітря шкідливі речовини й погіршують екологічний стан в локальному й глобальному масштабах.

Частки пилу з розмірами менш 1 мкм не затримуються у верхніх дихальних шляхах, накопичуються в легенях і перешкоджають газовому обміну організму із зовнішнім середовищем. Тому, це ставить задачу прогнозування забруднення дрібнодисперсним

© І. С. КОЗІЙ, Л. Л. ГУРЕЦЬ, О. П. БУДЬОНІЙ, 2012

пилон докіль від діючих виробництв. Результати такого прогнозу є підґрунтям для розробки захисних заходів.

Мета роботи

Метою роботи є розробка математичної моделі процесу розсіювання дрібнодисперсного пилу в атмосфері та перевірка її адекватності в умовах конкретного виробництва.

Методика досліджень

Використано математичні методи для дослідження процесу розсіювання дрібнодисперсного пилу в атмосфері. Для отримання результатів у даній роботі використані фізичні методи для визначення дисперсного складу та механічних властивостей пилу, гравіметричний метод для визначення запиленості повітря на межі санітарно-захисної зони підприємства. Теоретичні розрахунки та обробку експериментальних даних виконували із застосуванням комп'ютерних програм MapleSoft 12.0 та ЕОЛ 2000.

Обговорення результатів

Розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері відбувається під дією вітрових потоків повітря з врахуванням їх дрібномасштабних флуктуацій. Середній потік забруднюючих часток, що переносяться повітряними масами, як правило має адвективну і конвективну складову. Середні флуктуаційні рухи часток можна інтерпретувати як дифузію на фоні основного середнього руху, пов'язаного з ним. Якщо спостерігати за факелом димової труби, то, по-перше, спостерігається захоплення димового факела потоком повітря і, по-друге, поступове розширення цього факела при віддаленні від джерела в наслідок дрібномасштабної турбулентності. В результаті факел має форму витягнутого конусу, що розширюється в напрямку руху повітряних мас. Збільшуючись під впливом крупно масштабних турбулентних флуктуацій, факел розпадається на ізольовані вихрові утворення, що захоплюються повітряними масами на велику відстань від джерела розсіювання.

Пилові домішки, що викидаються в атмосферне повітря, як правило, мають полідисперсний склад. Великі частинки пилу під дією сил інерції починають знижуватися і осідають на поверхні землі здебільшого поблизу джерела викиду або в межах санітарно-захисної зони (СЗЗ). Гравітаційний потік для важких часток виявляється набагато більшим дифузійного, тоді як для легких домішок він практично невідчутний. Дрібнодисперсний пил захоплюється повітряними масами та переноситься на велику відстань від джерела розсіювання внаслідок дифузійного перенесення.

Проведена паспортизація пилу двоокису титану та ільменіту дозволила класифікувати його як дуже дрібнодисперсний та дрібнодисперсний. Частка пилу, що осаджується під дією гравітаційних сил, зважаючи на дисперсний склад, буде невелика. Тому, в основі математичного моделювання процесу розповсюдження дрібнодисперсного пилу лежить дифузійна постановка задачі [1].

В своїй основі усі математичні моделі процесу розповсюдження домішок спираються на диференціальне рівняння переносу

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + u \frac{\partial \varphi}{\partial x} + v \frac{\partial \varphi}{\partial y} + w \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \sigma^* \varphi = \frac{\partial}{\partial z} \gamma \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \mu^* \nabla^2 \varphi + k, \quad (1)$$

де φ – концентрація забруднюючої речовини, кг/м^3 ; t – час, с; u , v , w – компоненти швидкості вітру за віссю декартової системи координат, м/с ; μ^* – коефіцієнт горизонтальної дифузії в площині (x, y) , $\text{м}^2/\text{с}$; γ – коефіцієнт вертикальної дифузії в z – напрямку, $\text{м}^2/\text{с}$; $\nabla^2 \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}$; k – параметр джерела, що залежить від координат і часу, тобто $k = f(x, y, z, t)$; σ^* – величина, що пов'язана з трансформацією субстанції, с^{-1} .

Так як досліджуваний пил класифікували як дуже дрібнодисперсний та дрібнодисперсний, можна говорити про високу інерційність пилу, що буде повністю захоплюватись повітряним потоком при виході з отвору труби, а також незначну дію сили тяжіння. В зв'язку з цим було прийнято до розгляду одновимірну задачу [2] і у спрощеному вигляді рівняння (1) в умовах штилю з врахуванням переносу набуває вигляду

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \sigma^* \varphi = \mu^* \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + Q \delta(x - x_o) \quad (2)$$

в нескінченному середовищі - $-\infty \leq x \leq \infty$, де Q – потужність джерела, що викидає в атмосферу пил, кг/с; $\delta(x - x_o)$ - дельта-функція Дірака, що враховує інтегральний вміст частинок пилу, що дифундують в об'ємі повітря за висотою, а також кількість частинок, що осідають на поверхні землі, $1/\text{м}^3$

$$\delta = \sigma^* + \alpha \gamma / H, \quad (3)$$

де α - функція, що характеризує взаємодію домішок з підстилаючою поверхнею; H – висота джерела викиду, м.

Рівняння (2) можна використовувати коли швидкість повітряних мас дорівнює нулю. При наявності вітру, а також з урахуванням постійної величини викиду (стаціонарний процес), воно набуває вигляду

$$u \frac{d\varphi}{dx} + \sigma^* \varphi = \mu^* \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + Q \delta(x - x_o). \quad (4)$$

Таким чином в рівнянні (4) ми також не враховуємо швидкість осадження часток, прийнявши їх такою, що дорівнює нулю. Внаслідок високої інерційності часток дрібнодисперсного пилу він буде повністю захоплюватись потоком вітру.

Постановка граничних умов для рівняння (4) переносу домішок розглянуто в роботах [2, 3]. Приймаємо такі граничні умови: межею розсіювання пилу від стаціонарного джерела є розміри СЗЗ підприємства; джерело знаходиться в центрі координат; потужність викиду джерела є постійною величиною.

Наведене рівняння (4) належить до диференціальних рівнянь другого порядку, що мають аналітичне рішення лише у простих випадках. Для широкого спектру природних і технологічних процесів задачу можна розв'язати чисельно в тому випадку, коли похідні, що є у рівнянні, замінити на кінцеві різниці, створені на малих просторових інтервалах. У випадку моделювання реального процесу розповсюдження шкідливих домішок в атмосферному повітрі виконаємо дискретизацію простору, розбивши геометрію процесу на розрахункові інтервали (від джерела до відстані СЗЗ підприємства)

$$h = \frac{(b-a)}{n}, \quad (5)$$

точки розбиття $x_i = x_o + ih$, $i = 0, 1, \dots, n$; $x_o = a$; $x_n = b$.

Значення функції $\varphi = \varphi(x)$ і її похідних $\varphi' = \varphi'(x)$, $\varphi'' = \varphi''(x)$ позначимо відповідно через $\varphi_i = \varphi_i(x_i)$, $\varphi_i' = \varphi_i'(x_i)$, $\varphi_i'' = \varphi_i''(x_i)$.

Вводимо позначення

$$\mu_i^* = \mu(x_i), u_i = u_i(x_i), \sigma_i^* = \sigma_i(x_i). \quad (6)$$

Замінімо похідні на односторонні скінченнорізницеві співвідношення

$$\varphi_i' \approx \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1}}{2h}, \quad (7)$$

$$\varphi_i'' \approx \frac{\varphi_{i+1} - 2\varphi_i + \varphi_{i-1}}{h^2}. \quad (8)$$

Формули (7) та (8) приблизно виражають значення похідних у внутрішніх межах інтервалу $[a, b]$.

Для граничних значень припустимо

$$\varphi'_0 \approx \frac{\varphi_1 - \varphi_0}{h}, \quad \varphi'_n \approx \frac{\varphi_{n-1} - \varphi_n}{h}. \quad (9)$$

Використовуючи формули (7) та (8), диференційне рівняння (4) при $x = x_i$, ($i = 1, 2, \dots, n-1$) наближено можна замінити лінійним рівнянням

$$\mu_i \frac{\varphi_{i+2} - 2\varphi_{i+1} + \varphi_i}{h^2} + u_i \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1}}{2h} + \sigma_i \varphi_i = Q\delta(x - x_0). \quad (10)$$

Перетворюючи рівняння (3.10) відносно φ_{i-1} , φ_i та φ_{i+1} отримуємо скінченнорізницьову формулу для вирішення поставленої задачі

$$\left(\frac{\mu_i}{h^2} - \frac{u_i}{2h}\right)\varphi_{i-1} + \left(\frac{-2\mu_i}{h^2} + \sigma_i\right)\varphi_i + \left(\frac{\mu_i}{h^2} + \frac{u_i}{2h}\right)\varphi_{i+1} = Q\delta(x - x_0). \quad (11)$$

Алгоритм розрахунку концентрації дрібнодисперсного пилу на відстані від джерела забруднення реалізований на алгоритмічній мові C++. Величина кроку у розрахунках становила 0,01 м, відповідно сітка мала 10^4 значень, результати яких підраховуються в середньому 5 секунд і зберігаються у вигляді файлу даних на комп'ютері.

З метою перевірки адекватності математичної моделі було виконано заміри запиленості повітря на межі санітарно-захисної зони ПАТ «Сумихімпром» та за територією підприємства, результати яких наведено в табл. Виробництво двоокису титану на даному підприємстві є основним джерелом привнесення дрібнодисперсного пилу в атмосферу [4]. Всі заміри запиленості повітря припадали на період роботи лише виробництва двоокису титану на підприємстві.

Таблиця – Стан запиленості повітряного середовища на територіях, прилеглих до ПАТ «Сумихімпром»

Місце відбору проб	Концентрація, мг/м ³			ГДК нас.пункт., мг/м ³
	макс.	мін.	середня	
400 м від джерела	2,8	2,4	2,6	0,5
500 м від джерела	2,1	1,7	1,9	0,5
600 м від джерела	1,7	1,5	1,6	0,5
800 м від джерела	1,6	1,2	1,4	0,5
1000 м (межа СЗЗ)	1,3	0,9	1,1	0,5
500 м від межі СЗЗ	1,1	0,7	0,9	0,5

Порівняльний аналіз математичної моделі та експериментальних даних наведено на рис.

Аналіз отриманого графіку розподілу концентрацій на відстані від джерела викиду дозволяє встановити, що результат математичного моделювання схожий до результатів експериментальних досліджень. Як бачимо з рис. 1, відхилення розрахункових значень математичної моделі від результатів експерименту в основному не перевищує 15% у всьому дослідженому діапазоні відстаней. Найбільша відповідність математичної моделі експериментальним значенням відбору проб пилу спостерігається на відстані до 500 м від джерела розсіювання.

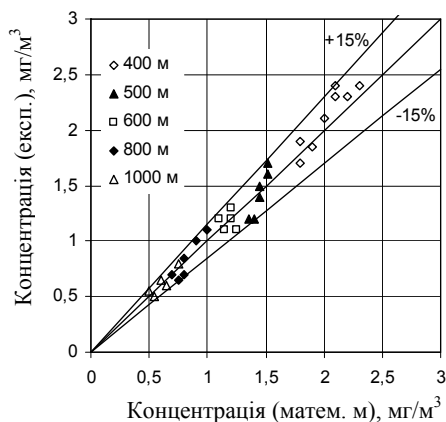


Рис. – Зіставлення результатів розсіювання дрібнодисперсного пилу за математичною моделлю та експериментальними даними

Висновок

Розроблена математична модель може бути використана для розрахунку концентрації дрібнодисперсного пилу на заданій відстані від джерела при певній швидкості вітру та заданій потужності джерела. Аналіз адекватності математичної моделі відносно експериментальних даних свідчить про адекватність розробленої математичної моделі і збіжність результатів на рівні 85%.

Список літератури: 1. Расчет загрязнения атмосферы при аварии на базе модели конвективно-диффузионного переноса примеси / А. В. Радкевич, Н. Н. Беляев, А. А. Степаненко [та ін.] // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – вип. 32. – С. 203 – 205. 2. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 320 с. 3. Hanna S. Air Quality Modelling over Short Distances / S. Hanna // College on Atmospheric Boundary Layer and Air Pollution Modelling, 1994. - № SMR/760-2. – P. 712 – 743. 4. Козій І. С. Паспортизація пилу двоокису титану та пошук шляхів для зменшення його втрат на ВАТ «Сумхімпром» / І. С. Козій, Л. Д. Плячук, Л. Л. Гурець, С. В. Вакал // Вісник КДПУ ім. М.Остроградського – 2009. - №6(59). – С. 193-195.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 502.174:66.074 - 963

Моделювання розсіювання дрібнодисперсного пилу в атмосфері від стаціонарних джерел забруднення / І. С. Козій, Л. Л. Гурець, О. П. Будоный // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 66 (972). – С. 114-118. – Бібліогр.: 4 назв.

Разработана математическая модель рассеивания твердых частиц и ее решение методом конечных элементов с учетом дисперсности пыли, которая может быть использована для расчета концентрации мелкодисперсной пыли на заданном расстоянии от источника при определенной скорости ветра и заданной мощности источника.

Ключевые слова: мелкодисперсная пыль, загрязнение, атмосфера, прогноз рассеивания.

A mathematical model for dispersion of particulate matter and its solution by finite elements, with the dispersion of dust, which can be used to calculate the concentration of fine dust at a given distance from the source at a given wind speed and a given power source.

Keywords: fine dust, pollution, atmosphere, forecast dispersion.

УДК 631.61

Н. А. МАКАРЕНКО, аспирант, СумГУ, . Сумы

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Проведены исследования по связыванию тяжелых металлов в нерастворимые комплексные соединения за счет внесения органо-минеральных удобрений, на основе отечественных фосфоритов, исследования процесса вымывания тяжелых металлов из почвенного слоя.

Ключевые слова: тяжелые металлы, комплексные удобрения, гуматы, детоксикация почв.

Введение

Тяжелые металлы являются одним из факторов загрязнения почв, имеют канцерогенные свойства и представляют потенциальную опасность для здоровья человека и окружающей среды. Для предотвращения негативного влияния токсикантов, необходимо изучение особенностей миграции, накопления и трансформации тяжелых металлов в почвах.

© Н. А. МАКАРЕНКО, 2012

Почва является природным барьером, который удерживает поступление тяжелых металлов в растения и миграцию их в смежные среды. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве влияет на интенсивность водной миграции тяжелых металлов и их доступность для высших растений и таким образом характеризует потенциальную опасность накопления тяжелых металлов в почвах и растениях [1].

Тяжелые металлы имеют свойство накапливаться, мигрировать в почвенном слое при этом происходит загрязнение верхних слоев почвы и подземных вод. В связи с этим возникает необходимость решения задачи по связыванию подвижных водорастворимых форм тяжелых металлов в нерастворимые комплексные соединения для снижения негативного влияния ТМ на почву и растения. Результаты данных исследований являются основой для разработки новых видов минеральных удобрений.

Целью работы

Целью работы является исследование по связыванию тяжелых металлов в нерастворимые комплексные соединения за счет внесения гумат содержащих минеральных удобрений, исследование процесса вымывания тяжелых металлов из почвенного слоя под действием атмосферных осадков, подбор оптимального состава экологически целесообразных органо-минеральных удобрений.

Методика экспериментов

Образцы минеральных удобрений получены на тарельчатом грануляторе методом окатывания. Валовое содержание, подвижные и водорастворимые формы тяжелых металлов определяли по методике ЦИНАО на атомно-абсорбционном спектрофотометре с электротермической атомизацией [2]. Содержание K_2O , P_2O_5 в почве определяли по методу Чирикова, рН солевое определяли рН-метром с добавлением хлорида калия. Статистическую прочность гранулированных удобрений определяли экстензометром ИПГ-1.

Обсуждение результатов

Предприятия химической промышленности, черной и цветной металлургии, ТЕЦ (работающие на угле) относятся к группе основных загрязнителей окружающей среды тяжелыми металлами. Около 90-95% тяжелых металлов от этих предприятий поступает в почву в виде техногенной пыли, частично тяжелые металлы поступают в почву вместе с минеральными удобрениями, в состав которых они входят и концентрируются в верхнем слое почвы. Поэтому актуальным является вопрос о снижении негативного влияния тяжелых металлов в почве.

В ходе решения поставленной задачи были проведены исследования по разработке рецептур органо-минеральных азотных удобрений с оболочкой на основе фосфорита и цеолита. На модельном тарельчатом грануляторе изготовлена опытная партия азотсодержащих органо-минеральных удобрений на основе карбамида. Одним из преимуществ карбамида является отсутствие подкисляющего действия на почву. Для улучшения комплексного действия в качестве основы для оболочки были использованы фосфориты Ново-Амвросиевского месторождения, цеолит и гумат калия. В качестве пластификатора использовался 50% раствор карбамида.

Химический состав опытных образцов органо-минеральных удобрений с оболочкой приведен в табл. 1.

Влияние новых видов удобрений (табл.1) на вымывание тяжелых металлов, азота, фосфора и калия из почвы проводили в ходе экспериментов с почвенными колонками. В качестве объекта исследования была взята почва серая лесная, ее характеристика представлена в табл. 2. Содержание свинца и кадмия в исходной почве представлены в табл. 3.

Таблица 1 – Химический состав опытных образцов органо-минеральных удобрений с оболочкой

№ п/п	Вид удобрения	Показатели, %				
		K ₂ O	P ₂ O ₅ общ.	P ₂ O ₅ в.р.ф.	N _{общ.}	H ₂ O
1	Карбамид покрытый фосфоритом, пластификатор 50% раствор карбамида	0,24	4,3	2,5	24,4	0,5
2	Карбамид покрытый фосфоритом и цеолитом, пластификатор 50% раствор карбамида	0,31	4,09	2,17	23,97	0,76
3	Карбамид покрытый фосфоритом, пластификатор 50% раствор карбамида и гумат калия	0,3	4,33	4,25	24,4	0,45
4	Карбамид покрытый фосфоритом и цеолитом, пластификатор 50% раствор карбамида и гумат калия	0,36	5,17	2,9	17,45	0,45

Таблица 2 – Содержание свинца и кадмия в серой лесной почве

№	Показатель	Pb, мг/кг	Cd, мг/кг
1	Валовое содержание	6,1	<0.1
2	Водорастворимые формы	<1.0	<0.1
3	Подвижные формы	<2.0	<0.1

Маса почвы в колонке 1 кг, высота колонки 30 см., диаметр колонки 8,3 см. Для увлажнения почвы до полной ее влагоемкости было израсходовано 275 мл воды в каждую колонку (объем воды определялся экспериментальным путем). Для увлажнения почвы в каждой колонке было использовано 230 мл воды, из расчета среднемесячного количества осадков.

Таблица 3 – Агрохимическая характеристика почвы серая лесная

рН	Гидро-литическая кислотность, мг экв/100г почвы	Сумма поглощенных оснований, мг экв/100г почвы	Гумус, %	Азот легко гидролизуемый, мг/кг	Содержание подвижных форм, мг/кг	
					P ₂ O ₅	K ₂ O
5,0	1,6	11,2	1,68	42	139	90

Одним из негативных аспектов производства минеральных удобрений является наличие свинца и кадмия в исходном сырье, поэтому частично эти тяжелые металлы содержатся и в полученных удобрениях. Содержание свинца и кадмия в опытных образцах удобрений представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Содержание Pb и Cd в опытных образцах удобрений.

№	Вид удобрений	Показатели, мг/кг	
		Pb	Cd
1	Карбамид покрытый фосфоритом, пластификатор 50% раствор карбамида	10,8	0,25
2	Карбамид покрытый фосфоритом и цеолитом, пластификатор 50% раствор карбамида	10,6	0,16
3	Карбамид покрытый фосфоритом, пластификатор 50% раствор карбамида и гумат калия	10,0	0,13
4	Карбамид покрытый фосфоритом и цеолитом, пластификатор 50% раствор карбамида и гумат калия	8,8	0,14

Для определения степени вымывания свинца и кадмия из почвы и внесенных удобрений, в почвенных колонках было проведено 4 промывки почвы. Количество внесенных удобрений было рассчитано по действующему веществу (по азоту), которое взято в двойной дозе N_{120} Результаты анализа промывных вод представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Содержание свинца и кадмия в промывных водах при внесении в почву двукратной дозы опытных образцов удобрений

Вид опытных образцов удобрений	Промывка № 1		Промывка № 2		Промывка № 3		Промывка № 4	
	Содержание, мг/л		Содержание, мг/л		Содержание, мг/л		Содержание, мг/л	
	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контроль (без удобрений)	0,033	0,0014	0,034	0,0006	0,034	0,00008	0,00610	0,00032
Карбамид покрытый фосфоритом, пластификатор 50% розчин карбамида, N_{120}	0,00260	0,00063	0,00715	0,00039	0,00127	0,00000	0,00125	0,00000
Карбамид покрытый фосфоритом и цеолитом, пластификатор 50% раствор карбамида, N_{120}	0,00390	0,00031	0,12782	0,00027	0,00855	0,00083	0,00162	0,00000
Карбамид покрытый фосфоритом, пластификатор 50% раствор карбамиду и гумат калия, N_{120}	0,00758	0,00000	0,00224	0,00001	0,00779	0,00050	0,00203	0,00000
Карбамид покрытый фосфоритом и цеолитом, пластификатор 50% раствор карбамида и гумат калия, N_{120}	0,00486	0,00014	0,00554	0,00118	0,00343	0,00010	0,00856	0,00000

Под действием атмосферных осадков происходит перемещение и вымывание не только тяжелых металлов внутри почвенного слоя, но и основных макроэлементов, которые играют важную роль для роста и развития растений. Содержание основных

макроэлементов в промывных водах при внесении в почву двукратной дозы опытных образцов удобрений представлено в табл. 6.

Таблица 6 – Содержание основных макроэлементов в промывных водах при внесении в почву двукратной дозы опытных образцов удобрений

Вид опытных образцов удобрений	Промывка №1			Промывка №2			Промывка №3			Промывка №4		
	Содержание, мг/ дм ³											
	K ₂ O	азот аммонийный	ортофосфаты	K ₂ O	азот аммонийный	ортофосфаты	K ₂ O	азот аммонийный	ортофосфаты	K ₂ O	азот аммонийный	ортофосфаты
Контроль (без удобрений)	5,48	0,21	3,6	4,89	0,57	2,5	3,86	0,62	1,94	4,37	1,08	2,38
Карбамид покрытый фосфоритом, пластификатор 50% розчин карбамида, N ₁₂₀	6,60	23,3	2,85	5,26	3,6	2,04	3,66	0,51	2,1	7,96	31,5	2,4
Карбамид покрытый фосфоритом и цеолитом, пластификатор 50% раствор карбамида, N ₁₂₀	5,96	2,07	1,65	3,55	0,47	2,21	8,70	16,0	2,15	5,88	2,7	1,62
Карбамид покрытый фосфоритом, пластификатор 50% раствор карбамиду и гумат калия, N ₁₂₀	3,07	0,57	1,89	6,05	17,6	2,75	4,86	3,6	2,23	4,12	0,74	2,11
Карбамид покрытый фосфоритом и цеолитом, пластификатор 50% раствор карбамида и гумат калия, N ₁₂₀	4,57	0,53	2,17	4,18	0,57	1,69	4,71	0,57	1,43	3,13	0,83	2,48

Сорбционные процессы являются первичными в распределении ионов тяжелых металлов между почвенными фазами, поступающих в почву из техногенных источников. Связывание тяжелых металлов происходит в результате различных процессов и реакций, включая адсорбцию и ионный обмен, абсорбцию и осаждение, комплексообразование и др. Гуминовые кислоты почв обладают уникальным свойством связывать тяжелые металлы в нерастворимые или малорастворимые комплексные соединения.

Гуминовые кислоты являются фракцией гуминовых веществ, которая растворима в щелочах и нерастворима в кислотах (при $\text{pH} < 2$). Гуминовые кислоты хорошо связывают катионы металлов и органические экотоксиканты в почвах и водных средах, в результате чего изменяется форма существования загрязнителей и их миграционная способность. Все гуминовые вещества полифункциональные, их молекулы содержат карбоксильные группы $-\text{COOH}$, фенольные $-\text{OH}$, хинонные, аминогруппы $-\text{NH}_2$. Из кислотосодержащих групп, карбоксильная группа (COOH) самая реакционноспособная, принимает участие в катионном и лигандном обмене или реакциях специфической адсорбции. Интенсивная диссоциация групп COOH происходит при pH от 3,0 до 6,0. Фенольная гидроксильная группа (OH) является второй по реакционной способности группой и диссоциирует на ионы при pH 8,0. Спиртовые OH -группы – слабокислые, и они взаимодействуют с металлами хуже, чем $-\text{COOH}$ или фенольные OH -группы.

Выводы

Полученные результаты исследований новых органо-минеральных удобрений, открывают перспективу производства экологически чистой сельхозпродукции в зонах повышенного загрязнения почв. Использование органо-минеральных удобрений, особенно с гуматами позволяет снижать накопление подвижных форм тяжелых металлов не только в почвенном слое, но и в растениях.

Список литературы: 1. Байдина Н. Л. Инактивация тяжелых металлов гумусом и цеолитами в техногенно загрязненной почве // Почвоведение. 1994.- №9. С.121-125. 2. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства (2-е издание, переработанное и дополненное) ЦИНАО – М., 1992. – 61 с.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 631.61

Исследования эффективности применения комплексных органо-минеральных удобрений для уменьшения загрязнения почв тяжелыми металлами / Н. А. Макаренко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 66 (972). – С. 118-123. – Бібліогр.: назв.

Проведені дослідження по зв'язуванню важких металів у нерозчинні комплексні сполуки за рахунок внесення органо-мінеральних добрив, на основі вітчизняних фосфоритів, дослідження процесу вимивання важких металів з ґрунтового шару.

Ключові слова: важкі метали, органо-мінеральні добрива, гумати, фосфорити, детоксикація ґрунтів.

The investigations on the binding of heavy metals into insoluble complexes by introducing organic and mineral fertilizers on the basis of domestic phosphate rock, the study of leaching of heavy metals from the soil.

Keywords: heavy metals, complex fertilizers, humates, detoxification of soils.

УДК 661.931

Г. И. ЩЕРБАНЬ, аспирант, ЗГИА, Запорожье

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ПЛОТНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТА И РАСПЛАВА АЛЮМИНИЯ В ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЕ

Представлены результаты исследования по определению отношения плотностей электролита и алюминия при ведении процесса электролиза криолит- глиноземных расплавов. Обсуждается технология определения параметров алюминиевого электролизера косвенными методами, позволяющая повысить качество управления процессом.

Ключевые слова: электролит, расплав алюминия, плотность, косвенный метод

© Г. И. ЩЕРБАНЬ, 2012

Введение

Расплав алюминия и электролит являются основными составляющими при производстве алюминия электролизом. Для ведения процесса электролиза с высокими показателями выхода по току и энергии необходимо иметь оптимальное отношение плотностей расплава алюминия и электролита для надежного разделения двух жидких фаз. Так как, согласно [1], плотность расплава алюминия примерно на 10 % выше плотности расплава электролита, то анализ зависимостей плотностей от температуры показывает, что плотность расплава электролита повышается быстрее, чем плотность расплава алюминия. Это может привести к перемешиванию расплавов и снижению производительности электролизера.

На большинстве алюминиевых заводов для определения плотности электролита и расплава алюминия используются только расчетные методы на основе эмпирических формул по периодическим замерам температуры электролита и результатам химического анализа. Предполагая, что плотности расплавленных солевых систем взаимосвязаны, различными исследователями были выведены эмпирические уравнения, включающее плотность, температуру и состав электролита.

В работах [2-6] отмечается зависимость плотности расплавов алюминия и электролита от температуры

$$\rho_{\text{al}} = 2,382 - 0,000273 \cdot (T - 659),$$

$$\rho_{\text{al}} = 2,561 - 27,2 \cdot 10^{-4} T$$

$$\rho_{\text{el}} = 2,112 - 0,00093 \cdot (T - 1000).$$

где ρ_{al} – плотность алюминия, кг/м³; ρ_{el} – плотность электролита, кг/м³.

Кроме этого указывается, что изменение концентрации составляющих электролита также влияет на его плотность. В работе [6] приведена зависимость плотности электролита от концентрации его составляющих и температуры в следующем виде

$$\rho_{\text{el}} = 2,64 - 0,0008 t + 0,16 \text{BO} - 0,008 [\text{Al}_2\text{O}_3] + 0,005 [\text{CaF}_2] + 0,008 [\text{MgF}_2] - 0,004 [\text{LiF}]$$

где BO – весовое отношение NaF к AlF₃, концентрация глинозема в % масс, t – температура, °C.

Исследователи постоянно ведут работы для решения задачи определения плотности электролита и алюминия, но в ситуации агрессивности среды, многообразия и сложности влияния различных факторов, это крайне сложно.

Цель работы

Установление отношения плотностей электролита и алюминия от других технологических характеристик процесса электролиза для обеспечения возможности текущего контроля технологии и автоматизации процесса в целом.

Выполнение исследований и обсуждение результатов

Для проведения исследований использовались решения исследователей [7,8] по измерению уровней электролита и расплава алюминия в ванне, которые применимы также на электролизере с боковым токоподводом. В электролизной ванне размещали трубы, таким образом, что в одной из них получали чистую поверхность расплава алюминия, а во второй – чистую поверхность расплава электролита (рис. 1).

С помощью датчиков уровней поверхности измеряли уровни поверхностей алюминия и электролита до и после подачи анода. Для выполнения анализа технологических характеристик выберем горизонтальный уровень расплава алюминия в электролизере, ниже которого расплав однороден, т.е. фиксированный уровень расплава алюминия h_{00} в электролизере (рис. 2).

Оценку отношения плотностей расплавов алюминия и электролита производили с помощью периодического изменения межполюсного расстояния (за счет подачи анода). Для исключения влияния на плотность конвективных и электродинамических потоков в

расплавах алюминия и электролита, значения плотности нами взяты в столбах расплавов в соответствующих измерительных трубах (поз. 3 и 4 на рис. 1).

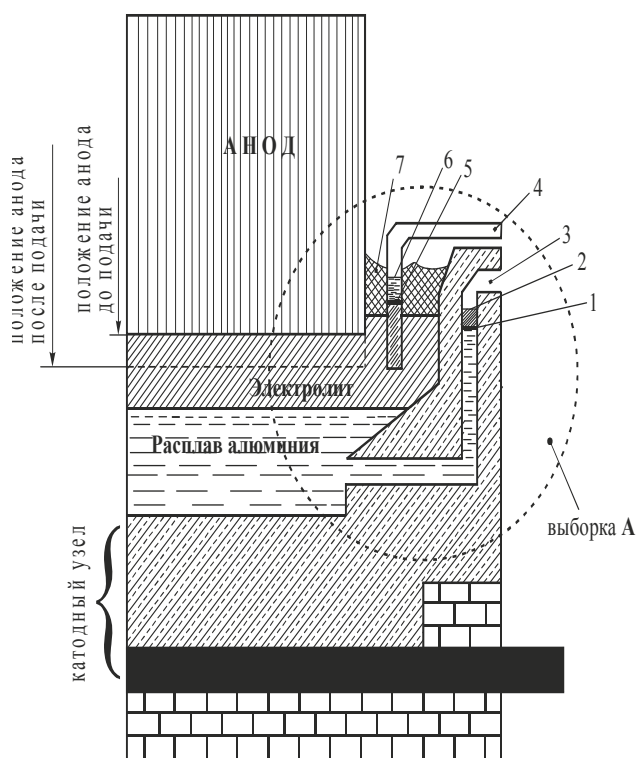


Рис. 1 – Схема электролизера для анализа уровня расплавов алюминия и электролита до и после подачи анода: 1 – уровень алюминия до подачи анода; 2 – уровень алюминия после подачи анода; 3 – труба для создания свободной поверхности алюминия; 4 – труба для создания свободной поверхности электролита; 5 – уровень электролита до подачи анода; 6 – уровень электролита после подачи анода; 7 – корка электролита

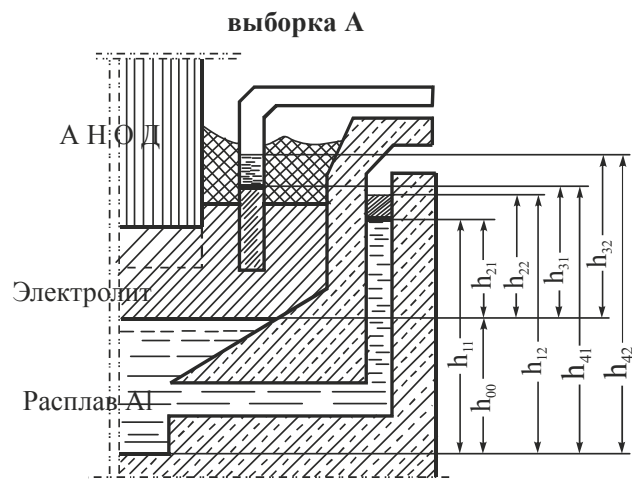


Рис. 2 – Уровни расплавов в электролизере – приведена выборка А из рис.1: h_{00} – уровень (от подины) расплава алюминия; h_{11} – общий уровень расплава алюминия с учетом подъема расплава в измерительной трубе до подачи анода; h_{21} – столб расплава алюминия над фиксированным уровнем до подачи анода; h_{22} – столб расплава алюминия над фиксированным уровнем после подачи анода; h_{12} – общий уровень расплава алюминия с учетом подъема расплава в измерительной трубе после подачи анода; h_{31} – столб расплава электролита над фиксированным уровнем алюминия до подачи анода; h_{32} – столб расплава электролита над фиксированным уровнем алюминия после подачи анода; h_{41} – общий уровень расплава электролита с учетом подъема расплава в измерительной трубе до подачи анода; h_{42} – общий уровень расплава электролита с учетом подъема расплава в измерительной трубе после подачи анода

Отношение плотностей расплава алюминия и электролита можно выразить следующим образом:

$$\frac{\rho_{Al}}{\rho_{el}} = \frac{h_{31}}{h_{21}} = \frac{h_{32}}{h_{22}},$$

где ρ_{Al} – плотность расплава алюминия, кг/м^3 ; ρ_{el} – плотность электролита, кг/м^3 ; h_{21} , h_{22} – высота столба металла в шахте относительно уровня металла в электролизере до и после подачи анода, см; h_{31} , h_{32} – высота столба электролита в электролизере до и после подачи анода, см

Величины изменений уровней высот столбов алюминия и электролита в измерительных шахтах после до и после подачи анода:

$$\Delta h_{el} = h_{42} - h_{41}$$

$$\Delta h_{Al} = h_{12} - h_{11}$$

где Δh_{al} – величина изменения высоты столба алюминия в измерительной шахте после подачи, см; Δh_{el} – величина изменения высоты столба электролита в измерительной шахте после подачи, см; h_{11} , h_{12} – общая высота столба алюминия в измерительной шахте до и после подачи анода, см; h_{41} , h_{42} – общая высота столба алюминия и электролита в электролизере до и после подачи анода, с учетом электролита вытесненного анодом

С учетом размерностей, соотношения плотностей расплавов и характеристик уровней можно представить следующим видом до опускания анода

$$h_{11} = h_{00} + h_{21}$$

$$h_{41} = h_{00} + h_{31}$$

после поднятия анода

$$h_{12} = h_{00} + h_{22} = h_{00} + h_{21} + \Delta h_{al}$$

$$h_{42} = h_{00} + h_{32} = h_{00} + h_{31} + \Delta h_{el}$$

где h_{00} – высота столба расплава алюминия в ванне, т.е. уровень металла, см.

Принимая равенство плотностей соответствующих расплавов до и после подачи анода, а следовательно, и их отношение, после преобразования, получим выражение, которое характеризует отношение плотностей электролита и металла

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_{41} - h_{00}}{h_{11} - h_{00}} = \frac{h_{41} - h_{00} + \Delta h_{el}}{h_{11} - h_{00} + \Delta h_{al}}$$

тогда, соотношение плотности расплава алюминия и плотности электролита

$$k = \frac{\rho_{Al}}{\rho_{el}} = \frac{h_{31}}{h_{21}} = \frac{h_{32}}{h_{22}},$$

где k – коэффициент, отражающий разницу плотностей расплавов.

Полученная зависимость величины уровня расплава алюминия от характеристик процесса позволяет контролировать соотношение плотностей расплава алюминия и электролита с периодичностью подач анода, что позволяет улучшить стабильность межфазной поверхности металл/электролит и сократить межполюсное расстояние [9]. Кроме того изучение изменения плотности электролита в зависимости от состава имеет прикладное и теоретическое значение. Прикладное значение заключается в возможности изменения соотношения плотностей металла и электролита путем введения в последний тех или иных добавок. При сопоставлении изменений плотности с изменением других свойств (например, электропроводностью) более полно выясняется картина этого взаимодействия и становится возможным делать определенные заключения о строении расплавов системы, так как далеко не каждое свойство одинаково резко отражает изменение состава системы и характер взаимодействия ее компонентов.

Выводы

На основе анализа колебаний уровней расплава получено соотношение плотностей расплавов алюминия и электролита в процессе электролитического получения алюминия. Из приведенных данных очевидно, что в целом существуют возможности дальнейшего повышения производительности процесса при его автоматизации.

Список литературы: 1. *Solheim, A.* The Density of Molten NaF-LiF-AlF₃-CaF₂-Al₂O₃ in Aluminium Electrolysis [Текст] : Aluminum Transactions, 2000. – Vol. 2. – No. 1. – P. 161-168. 2. *Галевский, Г. В.* Металлургия вторичного алюминия [Текст] : учебное пособие для вузов / Г. В. Галевский, Н. М. Кулагин, М. Я. Минцис. – Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998. – 289 с. – 200 экз. – Библиогр.: с. 285-286. – ISBN 5-02-031403-X 3. *Троцкий, И. А.* Металлургия алюминия [Текст] : учебное пособие для техникумов / И. А. Троцкий, В. А. Железнов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1984. – 400 с. – Библиогр.: с. 396. – Предмет. указ.: с. 396-398. – 6800 экз. 4. *Борисоглебский Ю. В.* Металлургия алюминия / Ю. В. Борисоглебский, Г. В. Галевский, Н. М. Кулагин [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. издат. фирма РАН, 1999. – 438 с. – Библиогр. : по главам. – ISBN 5-02-031632-6. 5. Прикладная электрохимия / Под ред. А.П.Томилова. – М.: Химия, 1984. –

520 с.] [Антипин Л.П. Электрохимия расплавленных солей / Л.П. Антипин, С.Ф. Важеннин. – М.: Металлургия, 1964. – 376 с. 6. Gjotheim, K. Aluminium electrolysis / K. Gjotheim [and others]. – Dusseldorf: Aluminium-Verlag, 1982. – 271 p. 7. Громыко А. И. / Энергосбережение за счет внедрения средств автоматического контроля и управления технологическими процессами // Тр. КГТУ. - 2006. - № 1. - С. 93-98 8. Пат. 2299932 Российская Федерация, МПК⁷ С 25 С 3/20. Способ контроля производительности электролизных ванн [Электронный ресурс] / Радионов М. А., Громыко А. И. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Красноярский государственный технический университет (КГТУ). - № 2005136317/02. ; заявл. 22.11.05 ; опубл. 27.05.07. Режим доступа <http://www.findpatent.ru/patent/229/2299932.html>. - выборка 01.08.12. 9. Utigard, T. A. Density of the Na³AlF⁶ AlF₃ - Al₂O₃ - CaF₂ system: a key to the performance of hall-heroult cells / T. A. Utigard // Complete table of contents. TMS Knowledge Resource Center. – Light metals. - 1993. - P. 267-272.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 661.931

Определение отношения плотностей электролита и расплава алюминия в электролизере / Г. И. Щербань // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 123-127. – Бібліогр.:9 назв.

Представлені результати дослідження за визначенням відношення щільності електроліту і алюмінію при веденні процесу електролізу глиноземних для кріоліту розплавів. Обговорюється технологія визначення параметрів алюмінієвого електролізера непрямыми методами, що дозволяє підвищити якість управління процесом.

Ключові слова: електроліт, розплав алюмінію, щільність, непрямий метод

he results of the study to determine the density ratio of the electrolyte and aluminum electrolysis process in the conduct of the cryo-lit-alumina melts. Discusses the technology of determining the parameters of an aluminum electrolytic indirect methods, allowing increased Sit-quality process control.

Keywords: electrolyte aluminum melt, the density, the indirect method

УДК 635.11:456.181

Н. М. ПЕНКІНА, канд. техн. наук, доц., ХДУХТ, Харків

НАКОПИЧЕННЯ КОНТАМІНАНТІВ У АНАТОМІЧНИХ ЧАСТИНАХ ОВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ

Вивчено накопичення токсичних речовин коренеплодами столового буряку різних ботанічних сортів, районованих у Харківській області. Досліджено локалізацію солей кадмію, міді, цинку та свинцю, а також їх вміст за анатомічними частинами коренеплодів столового буряку різних ботанічних сортів. На підставі експериментальних даних виявлено більш безпечний, відносно нагромадження токсиканів, сорт столового буряку.

Ключові слова: контамінанти, токсичні речовини, солі важких металів, накопичення, сорти.

Вступ

Серед овочевих культур, які вирощують в Україні, помітне місце займає столовий буряк. Завдяки своєму хімічному складу він має дуже високу харчову цінність та лікувальні властивості. В той же час коренеплоди столового буряку накопичують велику кількість токсичних речовин, що, в свою чергу, негативно впливає на здоров'я людини. Таким чином, вивчення та аналіз різних ботанічних сортів столового буряку на накопичення токсичних речовин актуально при вирішенні проблем раціонального харчування та безпеки продуктів харчування.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

До достатньо небезпечних забруднюючих речовин, спостереження за якими обов'язкове у всіх середовищах, відносяться солі важких металів. Термін “важкі метали” характеризує широку групу забруднюючих речовин і набув останнім часом значного

© Н. М. ПЕНКІНА, 2012

поширення. Солі важких металів включаються через ланцюг живлення в круговорот, концентруються в мікроорганізмах, рослинах, тваринних і таким чином вражають людей. Вживання у їжу продуктів, що вміщують велику концентрацію солей важких металів, може призвести до появи хронічних захворювань та отруєнь [1].

Мета та задачі досліджень

Метою роботи є дослідження коренеплодів столового буряку, які районовані в Харківській області, на накопичення ними солей важких металів, нітратів та радіонуклідів, а також розподілення вмісту токсичних речовин по різних анатомічних частинам коренеплоду.

Експериментальні дані та їх обробка

Нами було досліджено хімічні показники коренеплодів столового буряку сировинної зони Харківської області в виробничих умовах сировинних зон інституту овочівництва та баштанництва УААН згідно узгодження єдиної робочої програми. Оптимальні показники якості буряку столового визначали на коренеплодах біологічної зрілості в межах вимог діючих стандартів на буряк столовий свіжий. Кількість дефектних коренеплодів, включених до проби, було максимально допустимим стандартом на сировину. Кожну пробу формували в полі при зборі буряку столового з 30 коренеплодів одного ботанічного сорту. Досліджували наступні ботанічні сорти: Сквирський дар, Бордо 237, Одноросткова, Egavo, Libero, Detroit-2 negro та Местная 26-5.

Вміст солей важких металів у коренеплодах визначали методом полум'яної абсорбції [2]. Результати дослідження представлені в таблиці 1. Виходячи з даних таблиці 1 необхідно зазначити, що кадмій є дуже рухомим металом, який легко проникає в органи рослин що запасують ассимілянти. Кадмій відноситься до групи елементів які повільно виводяться з організму людини, тому вірогідність “кумулятивного ефекту” стає дуже високою. За даними таблиці 1 бачимо, що вміст солей кадмію у зразках коливається від 0,034 до 0,020 мг/кг, таким чаном максимальний показник перевищує ГДК (яка дорівнює 0,03 мг/кг) на 0,004 мг/кг. Максимальна кількість солей кадмію присутня у столовому буряку сорту “Egavo” (0,034 мг/кг), “Одноросткова” (0,033 мг/кг) та “Libero” (0,031 мг/кг). Ці показники перевищують ГДК. Найменша кількість солей кадмію спостерігається у сорті “Detroit-2-negro” (0,020 мг/кг). Відносно накопичення цинку та міді, необхідно відмітити, що мідь та цинк як полівалентні метали, легко утворюють різні комплекси, у тканинах овочів дуже рухомі. Середній вміст в зразках цинку та міді варіює, так як різні ботанічні сорти мають свої особливості будови тканин. Цинк у зразках столового буряку накопичується в межах від 1,36 мг/кг до 0,50 мг/кг, що в жодному зі зразків не перевищує рівня ГДК (ГДК = 10 мг/кг). Найбільш з досліджених зразків вміщує цинку сорт “Бордо 237” (1,36 мг/кг), найменший з показників спостерігається у сорті “Detroit-2-negro” (0,5 мг/кг).

Вміст міді у досліджених ботанічних сортах коливається від 4,86 мг/кг до 0,39 мг/кг, у сортах “Бордо 237” та “Egavo” відповідно. З проведених досліджень на вміст солей свинцю ми бачимо, що в жодному зі зразків його концентрація не перевищує гранично допустимі норми. Вміст свинцю у зразках коливається від 0,37мг/кг у сорті “Detroit-2-negro” до 0,12мг/кг у сортах “Egavo” та “Одноросткова”. Як свідчать літературні джерела, основна частина накопичення свинцю взагалі припадає на поверхню рослини, тому коренеплоди накопичують його в меншій мірі.

Таким чином ми виявили, що для ботанічних сортів столового буряку характерна сортова специфічність накопичення солей важких металів в коренеплодах. Причому вона проявляється відносно кожного металу; тобто при накопиченні максимальної кількості солей свинцю сортом “Detroit-2-negro” він накопичує найменшу кількість солей кадмію ніж інші сорти. А сорт “Egavo” навпаки при максимальній кількості солей кадмію

вміщує найменшу кількість солей свинцю та міді ніж інші зразки. Також разом з визначенням загальної кількості солей важких металів у різних ботанічних сортах столового буряку ми визначали їх вміст у різних анатомічних частинах коренеплоду, так як значимість їх з погляду використання у харчових цілях неоднакова. Концентрацій солей важких металів у коренеплодах столового буряку визначалася у голівці, власне корені та шийці, в якій в свою чергу досліджували перидерму та очищений коренеплід (табл.).

Таблиця – Вміст важких металів у столовому буряку, мг/кг

Анатомічна частина	Сквирський дар	Бордо 237	Одноросткова	Egavo	Libero	Detroit-2-nero	Местная 26-5
Солі цинку ($\text{ГДК}_{\text{солей цинка}} = 10 \text{ мг/кг}$), (збіжність $r = 0.34 \text{ млн}^{-1}$, відносне стандартне відхилення збіжності $100 \text{ Sr/m} = 12\%$, при $P = 0.95$, $n = 3$)							
Цілий коренеплід	1.14	1.36	0.69	0.52	0.94	0.50	1.14
Голівка	0.68	0.82	0.41	0.31	0.56	0.30	0.68
Шийка:							
перидерма	2.75	3.28	1.66	1.25	2.27	1.21	2.75
очищений коренеплід	0.77	0.92	0.47	0.35	0.63	0.34	0.77
Власне корінь	0.58	0.69	0.35	0.26	0.48	0.25	0.58
Солі кадмію ($\text{ГДК}_{\text{солей кадмію}} = 0.03 \text{ мг/кг}$)(збіжність $r = 0.0034 \text{ млн}^{-1}$, відносне стандартне відхилення збіжності $100 \text{ Sr/m} = 12\%$ при $P = 0.95$, $n = 3$)							
Цілий коренеплід	0.022	0.021	0.033	0.034	0.031	0.020	0.022
Голівка	0.030	0.041	0.047	0.048	0.044	0.046	0.040
Шийка:							
перидерма	0.064	0.089	0.101	0.104	0.095	0.098	0.086
очищений коренеплід	0.012	0.016	0.018	0.019	0.017	0.018	0.015
Власне корінь	0.010	0.014	0.016	0.017	0.015	0.016	0.014
Солі свинцю ($\text{ГДК}_{\text{солей свинцю}} = 0.5 \text{ мг/кг}$)(збіжність $r = 0.025 \text{ млн}^{-1}$, відносне стандартне відхилення збіжності $100 \text{ Sr/m} = 9\%$ при $P = 0.95$, $n = 3$)							
Цілий коренеплід	0.26	0.30	0.19	0.19	0.22	0.37	0.28
Голівка	0.26	0.30	0.19	0.19	0.22	0.36	0.28
Шийка:							
перидерма	0.18	0.21	0.13	0.13	0.15	0.25	0.19
очищений коренеплід	0.21	0.24	0.15	0.15	0.18	0.29	0.22
Власне корінь	0.22	0.25	0.16	0.16	0.18	0.31	0.23
Солі міді ($\text{ГДК}_{\text{солей міді}} = 5 \text{ мг/кг}$)(збіжність $r = 0.31 \text{ млн}^{-1}$, відносне стандартне відхилення збіжності $100 \text{ Sr/m} = 11\%$ при $P = 0.95$, $n = 3$)							
Цілий коренеплід	3.51	4.86	4.72	0.39	2.56	3.84	2.70
Голівка	3.27	4.53	4.40	0.36	2.39	3.58	3.18
Шийка:							
перидерма	3.97	4.94	4.83	0.44	2.90	4.34	3.85
чищений коренеплід	2.90	4.01	3.90	0.32	2.11	3.17	2.23
Власне корінь	3.18	4.40	4.27	0.35	2.32	3.48	2.44

З наведених у табл. даних ми бачимо що голівка та перидерма столового буряку значно накопичує токсичні речовини. Перидерма накопичує у 1,5 – 2 рази більшу кількість міді та кадмію, ніж очищений коренеплід, а цинку та свинцю у очищеному коренеплоді у 2 – 3 рази менше, ніж у перидермі. Це може пояснюватися тим, що у коренеплоді столового буряку верхня його частина – голівка та перидерма – поглинають іони.

Висновки

Проведені дослідження на коренеплодах столового буряку дають можливість стверджувати, що ця овочева культура має здатність накопичувати чималу кількість токсичних речовин. Спираючись на експериментальні данні, ми маємо можливість виділити сорти здатні накопичувати меншу кількість токсикантів, що є важливою ланкою під час використання цього цінного коренеплоду. У процесі поглинання іонів клітки перидерми виконують бар'єрну функцію, яка заключається у вибіркового проходженні іонів в тканини, що знаходяться глибше. Тому в цих тканинах можливе накопичення тих іонів, які не є необхідними для фізіологічних процесів рослини. Таким чином, з цією функціональною особливістю зовнішніх тканин коренеплоду пов'язано те, що в них накопичується максимальна кількість важких металів.

Виходячи з вищесказаного можна припустити, що видалення шкірки при очищенні коренеплоду може являтися одним з методів зниження вмісту солей важких металів.

Список літератури: 1. Зырин М.Г., Катунцова Е.В. Нормы содержания тяжелых металлов в системе почва - растение// Химия в сельском хозяйстве. – 1995. - №6. – с.45-48. 2. ДСТ 30178 – 96 Сировина і продукти харчові. Атомно-абсорбційний метод визначення токсичних елементів. – Мінськ,: Міжнародна рада по стандартизації, метрології і сертифікації, 1996 р.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 635.11:456.181

Накопичення контамінантів у анатомічних частинах овочевої сировини / Н. М. Пенкіна// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 127-130. – Бібліогр.:2 назв.

Изучено накопление токсических веществ корнеплодами столовой свёклы разных ботанических сортов, районированных а Харьковской области. Исследовано локализацию солей кадмия, меди, цинка и свинца, а также содержание их по анатомическим частям корнеплодов столовой свёклы разных ботанических сортов. На основании экспериментальных данных выделен более безопасный, относительно накопления токсикантов, сорт столовой свёклы.

Ключевые слова: контаминанты, токсические вещества, соли тяжелых металлов, накопление, нитраты, радионуклиды, сорта.

Studied the accumulation of toxic substances beet root crops different botanical varieties released and Kharkiv region. Examined the localization of salts of cadmium, copper, zinc and lead, as well as on the content of their anatomical parts root beet different botanical varieties. Based on experimental data highlighted a safer, relatively nagromazhdeniya toxicants grade beet.

Keywords: contaminants, toxins, heavy metals, the accumulation of nitrates, radionuclides, variety.

УДК 664.38

О. А. ЛИТВИНЕНКО, канд. техн. наук, ст. наук. співр., НТУ «ХПІ»

ДОСЛІДЖЕННЯ БІЛКОВИХ ПРОДУКТІВ ІЗ ЯДРА НАСІННЯ СОНЯШНИКУ

В статті представлено дані щодо отримання білкових продуктів із ядра насіння соняшнику. Досліджено склад, фізико-хімічні показники та функціонально-технологічні властивості отриманих білкових продуктів, а саме водо- і жиротримувальну, жироемульгувальну та піноутворювальну

© О. А. ЛИТВИНЕНКО, 2012

здатності, а також стабільність емульсії та піни.

Ключові слова: видобування олії та білків, ядро насіння соняшнику, екстракція, білковий продукт, функціонально-технологічні властивості.

Вступ. Збільшення виробництва білка, для задоволення потреб у ньому населення й тваринництва, є однією з найбільш гострих і важко розв'язуваних проблем нашого часу і має першорядне практичне значення. За даними статистики, приблизно половина всього населення Землі відчуває білкове голодування. Світове споживання білка становить близько 60 г на добу на душу населення при нормі 100 г і при крайній нерівномірності розподілу в різних країнах. Загальне виробництво білка в 1,5 рази, а тваринного – в 3 рази менше необхідного.

Рослинні білки – це основне джерело продовольчого та кормового білка. Приблизно половина всієї потреби організму людини в білках задовольняється за рахунок продуктів переробки зерна та олійних культур. В умовах дефіциту білка у світі особливу актуальність набуває проблема розширення сировинної бази для одержання харчових білків з насіння олійних рослин, яку можна вирішити за рахунок соняшника – основної олійної культури України.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Технології видобування олії та білків із олійного насіння присвячено велику кількість наукових праць, однак тільки для деяких культур запропоновано раціональні технології так званої прямої екстракції олії, тобто видалення олії за допомогою розчинника із сирого ядра насіння. Це стосується культур, де вміст олії не перевищує 25 % за масою (соя, бавовник).

З літературних даних виявлено, що високоолійні культури не можна переробляти методом прямої екстракції. Загально прийнята технологія переробки таких культур включає 2 етапи: часткове знежирення у пресах після волого-теплової обробки подрібненого ядра насіння і екстракцію олії з напівзнежиреного продукту вуглеводневим розчинником [1]. Однак, попередні дослідження, виконані авторами [2], дозволили створити принципово нову схему попереднього знежирення матеріалу, що виключає волого-теплову обробку подрібненого насіння. Після цього методом спиртової екстракції пропонується отримати рослинний білок.

Мета досліджень. Таким чином, метою представленої роботи є дослідження складу і фізико-хімічних показників, а також функціонально-технологічних властивостей білкових продуктів із ядра насіння соняшнику для встановлення можливості використання його у складі харчових продуктів.

Матеріали досліджень. Для отримання білкових продуктів в роботі використано безлушпинне ядро насіння соняшнику. Пресування ядра проведено методом плющення між металевими пластинами з наступною екстракцією гексаном (зразок № 1) та абсолютованим етанолом (зразок № 2). Після цього виконано комплекс досліджень щодо визначення складу та властивостей отриманих білкових продуктів за методиками, розробленими ВНДІЖ (м. Санкт-Петербург) та УкрНДІОЖ НААН (м. Харків).

Зміни, що відбувалися у складі білків визначено за розчинністю їх у воді, 10 %-вому розчині NaCl та 0,2 %-вому розчині NaOH. Вміст азоту в екстрактах та нерозчинному залишку визначено за методом К'ельдаля [3].

Для оцінки піноутворювальної здатності готували 10 %-ві суспензії білкових продуктів у воді. Об'єм доводили до 100 см³ дистильованою водою. Суспензію гомогенізували за допомогою гомогенізатора Homogenizer type 302 протягом 1 хв при частоті обертів 166,66 с⁻¹. Потім суспензію переносили у мірний циліндр на 250 см³. Піноутворювальну здатність встановлено шляхом визначення об'єму отриманої піни. Стабільність піни розраховано шляхом визначення відношення висоти піни у мірному циліндрі з часом до об'єму піни при першому вимірюванні.

Результати досліджень. В умовах лабораторії кафедри технології жирів та продуктів бродіння НТУ «ХПІ» проведено дослідження отриманих білкових продуктів. Результати досліджень щодо визначення складу та фізико-хімічних показників білкових продуктів представлено в табл.1.

Таблиця 1 – Склад та фізико-хімічні показники білкових продуктів

Найменування показника	Значення показника	
	Зразок № 1	Зразок № 2
Масова частка води та летких речовин, %	7,10	6,60
Масова частка сирової золи, в перерахунку на а.с.р., %	7,94	6,30
Масова частка сирого жиру, в перерахунку на а.с.р., %	1,20	1,70
Масова частка моно- і дісахаридів, в перерахунку на а.с.р., %	9,28	2,20
Масова частка хлорогенової кислоти, в перерахунку на а.с.р., %	5,70	4,40
Масова частка фосфоліпідів, в перерахунку на P_2O_5 , %	3,24	2,81
Масова частка протеїну, в перерахунку на а.с.р., %	52,10	58,20
Масова частка розчинних протеїнів до загального вмісту протеїну, %, в тому числі:	95,10	82,15
- альбуміни	26,60	14,20
- глобуліни	51,70	45,45
- глютеліни	16,80	22,50
Нерозчинний залишок, %	4,90	17,85

Експериментальні дані виявили, що білки зразків представлених продуктів не залишаються в незмінному стані при екстракції різними розчинниками. Порівнюючи якість зразка, отриманого при екстракції абсолютним етанолом, зі зразком гексанової екстракції, можна відзначити, що вміст сирого протеїну збільшується до 58,2 %, але відбувається зміна у співвідношенні окремих фракцій білків зразка білкового продукту: зменшується вміст альбумінів і глобулінів, а вміст глютелінів збільшується. Загальний вміст розчинних білків також зменшується, а нерозчинного залишку збільшується, що пояснюється деяким денатуруючим впливом абсолютного етанолу на білки представлених зразків. Однак етиловий спирт екстрагує із сировини більш широку гаму речовин, тому у білковому продукті № 2 знижується вміст моно- і дісахаридів, хлорогенової кислоти та фосфоліпідів.

Можливість використання білків як складової частини їжі обумовлена їх функціонально-технологічними властивостями. Під функціонально-технологічними властивостями розуміють фізико-хімічні характеристики білків, які визначають їх поведінку при переробці в харчові продукти та забезпечують необхідну структуру, технологічні і споживчі властивості [3].

Поверхнево-активні властивості білка, його поведінка на поверхнях розділу фаз вода-олія, вода-газ має велике практичне значення при отриманні харчових емульсій та пін. Білки як стабілізатори пін і емульгатори широко використовуються при отриманні традиційних і нових форм їжі. Так, харчові білоквисні емульсії грають важливу роль при виробництві аналогів молочних і комбінованих м'ясних продуктів, салатних заправок, соусів та ін. Білкові піни використовують при виробництві кремів, морозива, збиваних кондитерських виробів, випечених виробів, текстуратів білків та ін. [4].

З метою встановлення можливості використання отриманих білкових продуктів в харчових системах виявилось доцільним провести оцінку їх основних функціонально-

технологічних властивостей [5, 6]. Результати досліджень функціонально-технологічних властивостей зразків білкових продуктів у порівнянні з яєчним порошком представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Функціонально-технологічні властивості білкових продуктів

Найменування показника	Значення показника		
	Яєчний порошок	Зразок № 1	Зразок № 2
Водоутримувальна здатність, %	130,7	143,5	254,0
Жироутримувальна здатність, %	156,4	215,9	279,1
Жироемульгувальна здатність, %	97,2	98,7	97,5
Стабільність емульсії, %	95,5	97,8	95,2

Результати досліджень піноутворювальної здатності та стабільності піни отриманих білкових продуктів у порівнянні з яєчним порошком та яєчним білком відображено на рис. 1 та 2.

Співставлення величин досліджених функціонально-технологічних властивостей зразків білкових продуктів показує, що високий вміст розчинних протеїнів зразка № 1 позитивно впливає на збільшення стійкості стабілізованих їм емульсій і пін, але негативно впливає на сорбцію води та жиру у порівнянні зі зразком № 2. Таким чином, високі поверхнево-активні властивості зразка № 1 дозволяють рекомендувати його для виробництва емульсійних продуктів, а високі сорбційні властивості зразка № 2 будуть позитивно впливати на тістоутворення при виробництві хлібобулочних та кондитерських виробів.

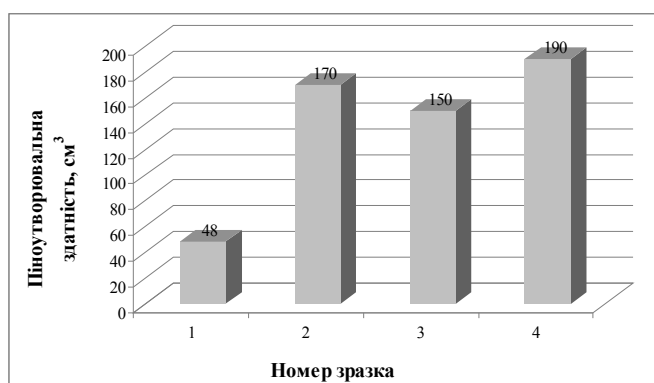


Рис. 1 – Піноутворювальна здатність білкових продуктів: 1 – 10 %-ва суспензія яєчного порошку; 2 – яєчний білок; 3 – 10 %-ва суспензія зразка № 1; 4 – 10 %-ва суспензія зразка № 2

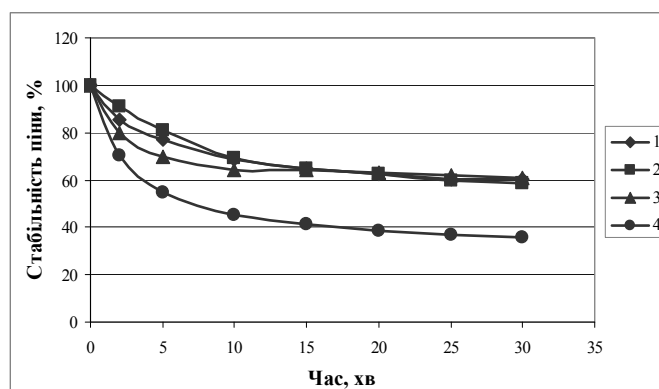


Рис. 2 – Стабільність піни білкових продуктів: 1 – 10 %-ва суспензія яєчного порошку; 2 – яєчний білок; 3 – 10 %-ва суспензія зразка № 1; 4 – 10 %-ва суспензія зразка № 2

Висновки. За оцінкою складу та фізико-хімічних показників доведено, що шляхом плющення безлушпинного ядра та наступною екстракцією розчинником можна одержувати білкові продукти високої якості. Встановлено, що за функціонально-технологічними властивостями зразки білкових продуктів не поступаються яєчним продуктам, які широко використовуються в харчовій промисловості.

Отримані дані будуть корисними для розробки рекомендацій щодо використання запропонованих білкових продуктів в якості збагачувачів та заміників тваринних білків в рецептурах харчових продуктів.

Список літератури: 1. Технология производства растительных масел / [В. М. Копейковский, С. И. Данильчук, Г. И. Гарбузова и др.]; под. ред. В. М. Копейковского. – М: Легкая и пищевая

промышленность, 1982. – 416 с. 2. Пат. 85385 Україна, МПК А23J 1/14. Спосіб отримання білкового харчового концентрату з ядра соняшника / Іхно М. П., Конєв М. Д., Котелевська А. А., Лукіна (Литвиненко) О. А.; заявник і патентовласник Національний технічний університет «ХП». – № а200600171; заявл. 06.01.2006; опубл. 26.01.09, Бюл. № 2. 3. Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / под ред. В. П. Ржехина, А. Г. Сергеева. – Л.: ВНИИЖ, 1965. – Т.2. – 418 с. 4. Толстогузов В. Б. Новые формы белковой пищи / В. Б. Толстогузов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с. 5. Технічні вимоги до властивостей яєчних порошків як емульгуючої добавки при виробництві майонезів: ТВ У 25660944.009-2003. – [Чинні від 15.06.2003]. – Харків: УкрНДІОЖ, 2003. – 16 с. 6. Білок соняшниковий. Технічні умови: ДСТУ 4596:2006. – [Чинний від 2008-01-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 16 с. – (Національний стандарт України).

Надійшла до редколегії 31.10.2012

УДК 664.38

Дослідження білкових продуктів із ядра насіння соняшнику/ О. А. Литвиненко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 66 (972). – С. 130-134. – Бібліогр.: назв.

В статье представлены данные о получении белковых продуктов из ядра семян подсолнечника. Исследованы состав, физико-химические показатели и функционально-технологические свойства полученных белковых продуктов, а именно водо- и жиростойкость, жиростойкость и пенообразующую способность, а также стабильность эмульсии и пены.

Ключевые слова: добыча масла и белков, ядро семян подсолнечника, экстракция, белковый продукт, функционально-технологические свойства.

The article presents data on the obtaining the protein products of the kernel of sunflower seeds. The composition, physical-chemical and functional-technological properties of the protein products have been investigated, namely, water- and oil-retaining, oil-emulsifying and foaming properties and the stability of emulsions and foams.

Keywords: extraction of oil and protein, the kernel of sunflower seeds, extraction, protein product, functional-technological properties.

УДК 664.3 : 338

Г. І. СОКОЛ, канд. техн. наук, старший викладач, НТУ «ХП»;

В. С. КАРЕТНИКОВА, канд. екон. наук, проф., НТУ «ХП»;

І. М. ДЕМИДОВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХП»

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПАР

У статті наведено розрахунок собівартості харчових поверхнево-активних речовин, одержаних шляхом етанолізу харчових жирів з додаванням гліцеролу. Проаналізовано зниження витрат на виробництво маргаринової продукції із використанням нового емульгатору та доведено економічну ефективність нової технології.

Ключові слова: харчові поверхнево-активні речовини, етаноліз, переетерифікація, емульгатор, моноацилгліцероли, гліцерол, собівартість

Вступ. Серед пріоритетних напрямків наукових досліджень в олійно-жировій галузі України є проблема створення перспективних технологій одержання харчових поверхнево-активних речовин (ПАР) вітчизняного виробництва.

Виробництво харчових ПАР досить поширене у світі та займає значний обсяг серед продукції харчової промисловості у зв'язку з їхнім широким використанням. В Україні на сьогодні не існує підприємств, що виготовляють даний продукт самостійно. Усі українські підприємства олійно-жирової та інших галузей харчової промисловості мають закуповують харчові ПАР у закордонних виробників за високу ціну.

© Г. І. СОКОЛ, В. С. КАРЕТНИКОВА, І. М. ДЕМИДОВ, 2012

На кафедрі технології жирів та продуктів бродіння НТУ «ХПІ» проводиться низка робіт, пов'язаних з розробкою технологій перспективних харчових ПАР із використання процесів алкоголізу та переетерифікації жирів. Ці процеси є достатньо простими в апаратурному оформленні та за технологічною реалізацією. Дуже важливою є та обставина, що багато заводів олійно-жирової промисловості України засвоїли ці технології, як у хімічному, так й у ферментативному варіантах. Тому дослідження, які спрямовані на розробку нових технологій, простіших та дешевших за існуючі, є актуальними.

Аналізуючи результати проведених комплексних досліджень процесу взаємодії харчових жирів з етиловим спиртом (етанолізу харчових жирів) [1-3], зроблено висновок про доцільність використання на вітчизняних підприємствах харчової промисловості процесу етанолізу пальмового стеарину з додаванням гліцеролу у реакційну суміш з метою одержання харчових ПАР на основі моноацилгліцеролів (МАГ). Переваги цієї технології полягають у відсутності необхідності розділяти одержану суміш продуктів на окремі компоненти, що значно спрощує та здешевлює процес одержання харчового ПАР. Розроблену технологічну схему періодичного етанолізу наведено на рисунку.

Харчові поверхнево-активні речовини широко використовуються у виробництві різноманітних продуктах харчування. Для встановлення економічної доцільності промислового виробництва харчового ПАР на основі процесу етанолізу пальмового стеарину із додаванням гліцеролу у реакційну масу проведено розрахунок собівартості та ціни одержаного ПАР на прикладі його використання у маргариновій продукції.

Обсяг випуску маргаринової продукції на ЗАТ «Запорізький ОЖК» за даними 2011 р. склав близько 82 тис. т [4]. Враховуючи те, що використання харчового ПАР у якості емульгатору в маргариновій продукції становить 0,2 % [5], а доля моноацилгліцеролів у продукті, що одержується у запропонованій технології, складає близько 35 %, визначимо обсяг виробництва харчового ПАР методом етанолізу у розмірі $0,470 \left(\frac{82 \cdot 0,002}{0,35} \right)$ тис. т. на рік.

Для розрахунків використані ціни на сировину вітчизняного виробництва згідно діючих тарифів.

Розрахунок вартості сировини і матеріалів приведено у табл.1.

Таблиця 1 – Вартість сировини й матеріалів

Найменування компонента	Ціна, грн/т	Потреба		Вартість	
		На 1т продукту, т/т	На річну програму, тис. т	На 1т, грн	На річну програму, тис. грн.
Пальмовий стеарин	12000	0,84	0,3948	10080	4737,6
Етиловий спирт	10000	0,04	0,0188	400	188
АБСК	18000	0,0084	0,003948	151,2	71,064
Разом				10631,20	4996,664

Собівартість розраховується на одиницю продукції з урахуванням усередненої структури собівартості, що прийнята в харчовій промисловості (близько 80 % собівартості приходить на сировину та основні матеріали), та на річний випуск і може бути представлена у вигляді табл. 2 [6].

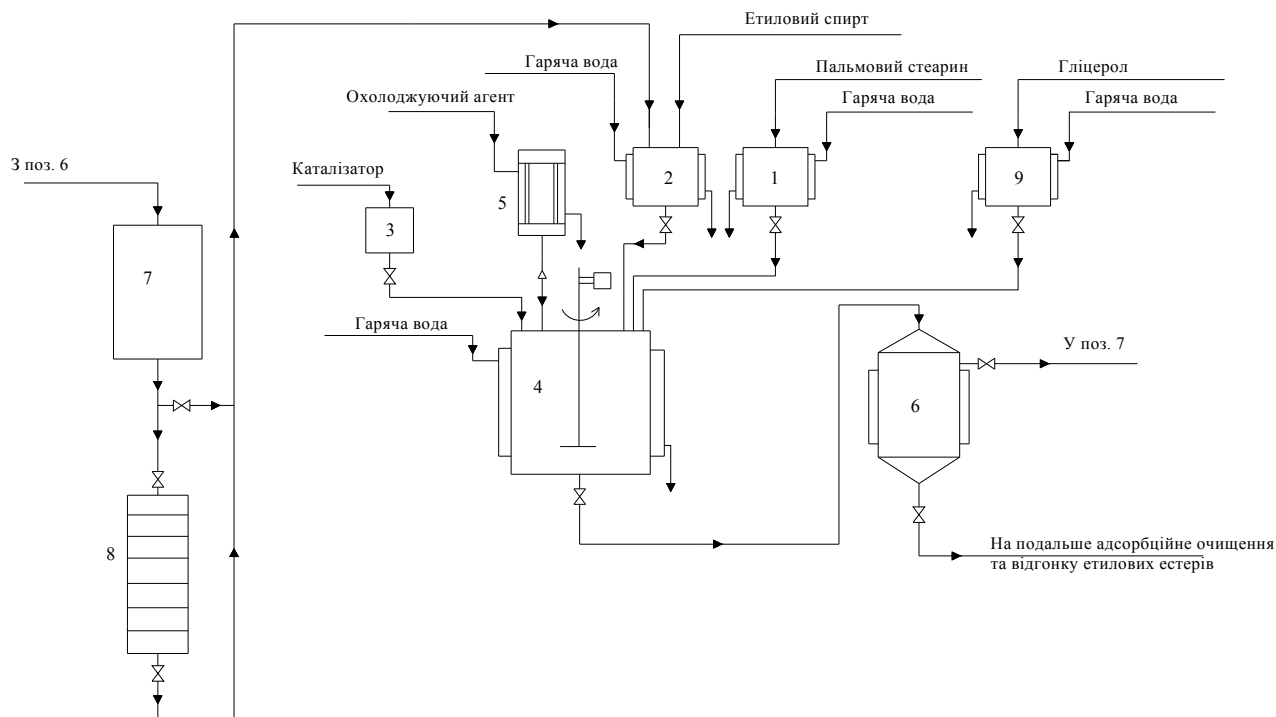


Рис. – Технологічна схема одержання харчових ПАР методом періодичного етанолізу: 1 – приймач, 2 – ємність для етилового спирту, 3 – ємність для каталізатору, 4 – змішувач, 5 – ємність для охолоджуючого реагенту, 6 – відстійник, 7 – приймальна ємність, 8 – колонний апарат, 9 – ємність для гліцеролу

Враховуючи те, що концентрація МАГ у емульгаторах, що використовуються на вітчизняних виробництвах, складає 90 %, а у одержуваному за запропонованою технологією харчовому ПАР – близько 35 % [7], витрати на його виробництво

складатимуть близько 40 грн/кг ($\frac{15763,66}{1000} \cdot \frac{90}{35} = 40,5$ грн/кг).

Таблиця 2 – Калькуляція собівартості 1 т, прибутку і ціни харчового ПАР при річному випуску продукції 0,470 т / рік

Статті калькуляції	Витрати	
	на 1 т продукції, грн	на річний випуск, тис. грн
Сировина і основні матеріали	10631,20	4996,664
Виробнича собівартість	13707,53	6442,541
Повна собівартість	15763,66	7408,922
Оптова ціна продукції	18916,40	8890,707
Відпускна ціна з урахуванням ПДВ	22699,68	10668,848

Вартість харчових ПАР закордонних виробників, що використовуються на вітчизняних підприємствах, складає майже 60 грн/кг, що у 1,5 рази перевищує витрати на виробництво харчового ПАР на основі процесу етанолізу пальмового стеарину із додаванням гліцеролу у реакційну масу.

Розглянемо зниження собівартості маргаринової продукції за рахунок використання нового харчового ПАР власного виробництва.

Розрахунок вартості сировини і матеріалів, що використовуються при виробництві маргарину (1 т та річний обсяг 82 тис. тонн), проведено на середньогалузевій рецептурі продукту та наведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Витрати на сировину та матеріали при виробництві маргаринової продукції

Найменування компонента	Ціна, грн/т	Потреба на 1 т продукту, т/т	Вартість	
			На 1 т, грн	На річну програму, тис. грн.
Пальмова олія	11000,00	0,125	1375,00	111581,25
Пальмовий стеарин	12000,00	0,126	1512,00	122698,80
Переетерифікований жир	10000,00	0,16	1600,00	129840,00
Соняшникова олія	12000,00	0,3893	4671,60	379100,34
Барвник	5000,00	0,002	10,00	811,50
Ароматизатор	15000,00	0,0012	18,00	1460,70
Емульгатор (закордонний /власного виробництва)	60000,00	0,0022	132,00	10711,80
	15763,66	0,0047	73,70	5980,36
Сіль	1500,00	0,03	45,00	3651,75
Вода	8,00	0,1643	1,31	106,66
Разом			9364,92	759962,80
			9322,09	755231,36

Зниження собівартості 1 т маргаринової продукції при використанні у рецептурі харчового ПАР власного виробництва складає $\frac{9364,92 - 9322,09}{9364,92} \cdot 100 = 0,45 \%$, а на річну програму економія складає більш ніж 4,7 млн грн.

Висновки. Отже, як видно з розрахунків, виробництво і застосування власних харчових поверхнево-активних речовин у виробництві харчових продуктів суттєво знижує їхню собівартість, також нові харчові ПАР власного виробництва можна реалізовувати іншим вітчизняним підприємствам харчової промисловості за конкурентоспроможною ціною.

Економічна доцільність нової технології відкриває шляхи до підвищення прибутковості підприємств.

Список літератури: 1. Демидов И. Н. Использование реакции алкоголиза для получения пищевых поверхностно-активных веществ / И. Н. Демидов, А. И. Златкина // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – № 27. – С. 87-92. 2. Демидов И. Н. Исследование условий реакции этанолиза для получения пищевых поверхностно-активных веществ / И. Н. Демидов, А. И. Златкина // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – № 15. – С. 108-111. 3. Демидов І. М. Одержання харчових ПАР з використанням реакції переетерифікації / Демидов І. М., Златкіна Г. І. // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса: ОНАХТ, 2009. – Вип. 36. – Том. 2. – С. 180-182. 4. Олійно-жирова галузь України : інформаційно-аналітичний бюлетень олійно-жирової галузі України та Російської Федерації / [ред. гр. Петік П. Ф., Кухта В. Г.]. – Х.: УкрНДЮЖ УААН, 2012. – 100 с. 5. Прокофьева Л. Ю. Использование биоприоритетных ПАВ в пищевых отраслях промышленности / Л. Ю. Прокофьева, В. А. Панкратов // Масла и жиры. – 2002. – № 4. – С. 1-2. 6. Каретникова В. С. Экономика и предпринимательство масложирового комплекса Украины : учеб. пособие / В. С. Каретникова, В. Г. Кухта. – Х.: НТУ «ХПІ», 2003. – 340 с. На русск. яз. 7. Клавер Ф. Эмульгаторы в пищевой промышленности / Ф. Клавер // Пищевые ингредиенты. Сырьё и добавки. – 2000. – №2. – С. 64-66.

Надійшла до редколегії 14.11.2012

Дослідження економічної ефективності вітчизняного виробництва харчових пар/ Г. І. Сокол, В. С. Каретнікова, І. М. Демидов // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 66 (972). – С. 134-138. – Бібліогр.: 7 назв.

В статті приведено розрахунок собівартості харчових поверхово-активних речовин, отриманих шляхом етанолізу харчових жирів з додаванням глицеролу. Проаналізовано зниження витрат на виробництво маргаринової продукції з використанням нового емульгатора і доведено економічну ефективність нової технології.

Ключевые слова: харчові поверхово-активні речовини, етаноліз, переестерифікація, емульгатор, моноацилглицероли, глицерол, собівартість.

The calculation of prime price of food surface-active substances, getting with an ethanolysis of food fats with addition of glycerol is resulted in the article. The cost cutting on the production of margarine goods with the using of new emulsifier is analyzed and economic efficiency of new technology is proven.

Keywords: food surface-active substances, ethanolysis, interesterification, emulsifier, monoacylglycerols, glycerol, prime price.

УДК 665.12

І. П. ПЕТИК, наук. співроб., УкрНДІОЖ;

Ф. Ф. ГЛАДКИЙ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХП»;

П. Ф. ПЕТИК, канд. техн. наук, директор УкрНДІОЖ;

З. П. ФЕДЯКІНА, нач. відділу, УкрНДІОЖ;

А. П. БЄЛІНСЬКА, канд. техн. наук, ст. викл., НТУ «ХП»

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗЧИННОСТІ НАТРІЄВИХ СОЛЕЙ ЖИРНИХ КИСЛОТ В ОСНОВІ НЕЙТРАЛІЗУЮЧОГО РОЗЧИНУ, ЩО МІСТИТЬ ЕТАНОЛ І ГЛІЦЕРИН

В статті отримано інформацію про розчинність солей жирних кислот (мил) триацилглицеринів ряду олій в основі нейтралізуючого розчину обґрунтованого компонентного складу. Встановлено кількісні залежності граничної розчинності миль цих олій в основі нейтралізуючого розчину від температури. Запропоновано використовувати концентровані соапстоки в нейтралізуючому розчині обґрунтованого складу як рідке туалетне мило.

Ключові слова: солі жирних кислот, мильно-лужний розчин, поверхневий натяг, розчинність, рідке мило

Вступ. Олійно-жирова галузь у нашій країні працює в умовах зростання вартості сировинних та енергетичних ресурсів. Сформовані ринкові умови практично виключають реалізацію нерафінованих олій і жирів, тому актуальною є розробка пропозицій по інтенсифікації процесів рафінації.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Процес рафінації олій та жирів у мильно-лужному середовищі поширений в промисловості і вважається ефективним. Однак дана технологія має ряд недоліків. Один з них пов'язаний з обмеженням загальної швидкості процесу стадією коалесценції крапель рафінованої олії (жиру) на межі розподілу фаз. Практично на межі розподілу рафінованої олії (жиру) та мильно-лужним розчином утворюється шар емульсії, і це змушує знижувати подачу олії (жиру), а для усунення емульсійного шару переривати процес для видалення цього шару. Ще один недолік методу нейтралізації в мильно-лужному середовищі – утворення розбавлених соапстоків, які потребують подальшого концентрування шляхом випарювання під вакуумом. Соапстоками в жиропереробній промисловості називають відстої, що утворюються в результаті лужного рафінування рослинних олій та жирів. Вміст загального жиру в соапстоках при безперервному способі нейтралізації олій та жирів в

© І. П. ПЕТИК Ф. Ф. ГЛАДКИЙ П. Ф. ПЕТИК З. П. ФЕДЯКІНА А. П. БЄЛІНСЬКА , 2012

мильно-лужному середовищі становить 10 % і більше; нейтральні триацилгліцерини зазвичай становлять там до 70 % від загального вмісту жиру в соапстоці, тобто вміст власне мила в соапстоці складає близько 3 %.

У зв'язку з викладеним вище, є актуальним вирішення питань щодо раціональних шляхів отримання високоякісного продукту – нейтралізованої олії (жиру), максимального заощадження ресурсної бази виробництва і отримання концентрованих соапстоків, що практично не містять нейтрального жиру, переробку яких буде значно полегшено.

В роботах [1, 2] встановлено кількісні залежності поверхневого натягу та густини зразків основи нейтралізуючого розчину від концентрації компонентів (води, етанолу і гліцерину), а також обґрунтовано оптимальний склад відносно поверхневого натягу та густини основи нейтралізуючого розчину для олій (жирів). Дані розробки дозволять підвищити ефективність нейтралізації олій в мильно-лужному середовищі, а саме підвищити концентрацію соапстоків і практично виключити вміст в них нейтрального жиру.

Розроблена основа нейтралізуючого розчину окрім води містить етанол і гліцерин, що робить її значно дорожчою за воду, яка традиційно використовується в даній технології. Виходячи з цього, виникає питання визначення шляхів застосування соапстоків після нейтралізації олій (жирів) в основі нейтралізуючого розчину.

Мета і задачі дослідження. Відповідно до вищенаведеного, метою дослідження є отримання інформації про розчинність солей жирних кислот (мил) триацилгліцеринів ряду олій в основі нейтралізуючого розчину обґрунтованого компонентного складу (вода : етанол : гліцерин у співвідношенні 30 : 30 : 40), а також визначення ступеню збільшення даної розчинності в порівнянні з контрольним розчинником, що використовується в сучасній технології нейтралізації олій та жирів, – води.

Для досягнення мети досліджень необхідно вирішення наступних завдань: визначення граничної розчинності солей жирних кислот триацилгліцеринів ряду олій в нейтралізуючому розчині обґрунтованого складу від температури розчинення; пропозиція використання соапстоків після нейтралізації олій та жирів в нейтралізуючому розчині обґрунтованого складу.

Результати досліджень. Солі жирних кислот (мила) отримано шляхом омилення зразків рафінованих соняшникової, пальмоядрової та кокосової олій гідроксидом натрію, виділення жирних кислот з суміші та їх подальшого омилення.

Досліджено розчинність отриманих натрієвих солей жирних кислот в трикомпонентному нейтралізуючому розчині при різних температурах. Результати даних досліджень представлено на рис. 1.

Залежність розчинності мил окремих жирних кислот в основі нейтралізуючого розчину від температури описуються рівняннями другого ступеня. Отримано рівняння регресії залежності граничної розчинності мил вищевказаних жирних кислот в діапазоні заданих температур при величині достовірності апроксимації $R > 0,9$.

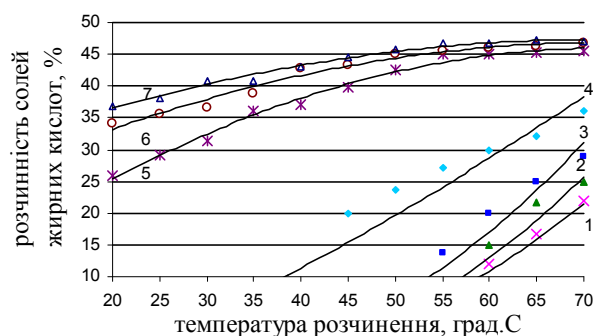


Рис. 1 – Залежність граничної розчинності мил стеаринової (1), пальмітинової (2), міристинової (3), лауринової (4), олеїнової (5), лінолевої (6) і ліноленової (7) жирних кислот в основі нейтралізуючого розчину від температури

Аналізуючи графічні описи залежностей граничної розчинності мил стеаринової, пальмітинової, міристинової, лауринової, олеїнової, лінолевої і ліноленової жирних кислот в основі нейтралізуючого розчину від температури, можна дійти висновку, що вирішальне значення в характері розчинності солей жирних кислот в основі нейтралізуючого розчину мають молекулярна маса жирної кислоти та ступінь ненасиченості її молекули.

Результати досліджень граничної розчинності натрієвих солей (мил) жирних кислот окремих олій в основі нейтралізуючого розчину від температури розчинення показано на рис. 2.

Вирішальне значення в ступені розчинності натрієвих солей жирних кислот окремих олій в основі нейтралізуючого розчину мають будова і співвідношення жирних кислот, що входять до складу олій, а, отже, і температура плавлення олій.

Виходячи з результатів досліджень, гранична розчинність мил жирних кислот дослідженого ряду олій в основі нейтралізуючого розчину при температурі 60-70°C коливається в межах від 25 % (для пальмової олії) до 47 % (для соняшникової та соєвої олій), що перевищує таку в воді в 2,5 - 4,7 рази.

Залежність розчинності мил окремих олій в основі нейтралізуючого розчину від температури описуються рівняннями другого ступеня. Отримано рівняння регресії залежності граничної розчинності мил вищевказаних олій в діапазоні заданих температур при величині достовірності апроксимації $R > 0,9$. На підставі результатів досліджень обґрунтовано рекомендації щодо розчинності натрієвих солей жирних кислот та їх сумішей в нейтралізуючому розчині, а саме: гранична розчинність солей означених жирних кислот та їх сумішей, що мають місце в означених оліях, в нейтралізуючому розчині при температурі 60–65 °C коливається в межах від 25 до 47 %; гранична розчинність мил жирних кислот в заданому діапазоні температур в основі нейтралізуючого розчину перевищує таку в воді в 2,5 – 4,7 разів; запропоновано використовувати концентровані соапстоки після нейтралізації олій та жирів в нейтралізуючому розчині обґрунтованого складу після подальшої обробки як рідке туалетне мило. Причому концентрація соапстоку в ньому (в перерахунку на жирні кислоти) має складати близько 20 % (згідно з вимогами нормативної документації на рідке мило).

Висновки. Використання основи нейтралізуючого розчину розробленого компонентного складу дозволить підвищити ефективність нейтралізації олій в мильно-лужному середовищі, а саме збільшити концентрацію соапстоку.

Список літератури: 1. Петік І. П. Вплив компонентного складу основи нейтралізуючого розчину на його характеристики [Текст] / І.П. Петік, Ф. Ф. Гладкий, З.П. Федякіна, А. П. Белінська, Л. М. Філенко // Вісник Національного технічного університету «Харківського політехнічного інституту». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – № 58. – С. 31-35. 2. Петік І. П. Склад основи нейтралізуючого розчину як фактор ефективності рафінації олій та жирів [Текст]/ І. П. Петік, Ф. Ф. Гладкий, З. П. Федякіна, А. П. Белінська // Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей [Текст]: матеріали Міжнародної наук.-техн.

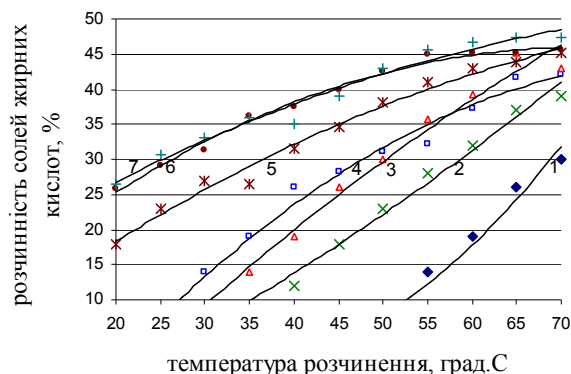


Рис. 2 – Залежність граничної розчинності мил пальмового стеарину (1), пальмової (2), кокосової (3), пальмоядрової (4) олій, пальмового олеїну (5), соняшникової (6) і соєвої (7) олій в основі нейтралізуючого розчину від температури

конф., 22-23 березня, 2012 р. / оргкомітет: *А. І. Українець* (голова). – Київ: НУХТ. – 2012. – с. 108. 3. Обработка экспериментальных данных [Электронный ресурс] / *Б. Д. Агапьев, В. Н. Белов, Ф. П. Кесаманлы* и др. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГТУ, 2001. – Режим доступа : <http://users.kpi.kharkov.ua/fmp/biblio/BOOK1/ref.html>. – Последний доступ : 2010. – Название с экрана.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 665.12

Дослідження розчинності натрієвих солей жирних кислот в основі нейтралізуючого розчину, що містить етанол і гліцерин / І. П. Петік Ф. Ф. Гладкий П. Ф. Петік З. П. Федякіна А. П. Белінська // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 138-141. – Бібліогр.: 3 назв.

В статье получена информация о растворимости солей жирных кислот (мыл) триацилглицеринив ряда масел в основе нейтрализующего раствора обоснованного компонентного состава. Установлены количественные зависимости предельной растворимости мыл данных масел в основе нейтрализующего раствора от температуры. Предложено использовать концентрированный соапсток в нейтрализующем растворе обоснованного состава как жидкое туалетное мыло.

Ключевые слова: соли жирных кислот, мыльно-щелочной раствор, поверхностное натяжение, растворимость, жидкое мыло

In the article information is obtained on the solubility of salts of fatty acids (soaps), triacylglycerol oils based on a number of neutralizing solution sound component composition. The quantitative dependence of the maximum solubility of these oils, soaps based on neutralizing the solution with temperature. Proposed to use a concentrated soap stock in a neutralizing solution of sound as liquid soap.

Keywords: salts of fatty acids, soap-alkaline solution, surface tension, solubility, liquid soap

УДК 615.012.8

А. Е. ШАХМАЕВ, аспирант, НТУ «ХПІ»;

Ю. М. КРАСНОПОЛЬСКИЙ, д-р фарм. наук, проф., НТУ «ХПІ»

ПОЛУЧЕНИЕ ЛИПОСОМАЛЬНЫХ ФОРМ ГИДРОФОБНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ

Представлены данные, подтверждающие эффективность гидрофобных антиоксидантов в липосомальной форме для лечения заболеваний различной этиологии. Показано, что наночастицы – липосомы являются весьма перспективными носителями для гидрофобных антиоксидантов. В работе приведены данные, полученные авторами, при создании липосомальных форм коензима Q10 и витамина Е. Изучена зависимость размера липосом от технологии получения и состава образца.

Ключевые слова: липосома, фосфолипиды, гидрофобные антиоксиданты, перекисное окисление липидов, кверцетин, коензим Q10, витамин Е (α -токоферол).

Введение.

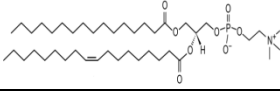
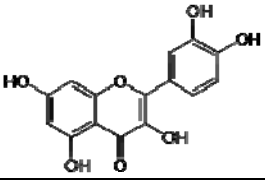
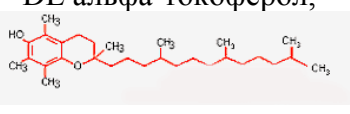
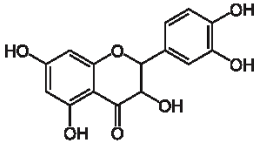
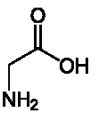
За последнее десятилетие в клинике обоснованно возросло применение препаратов, содержащих гидрофобные антиоксиданты (ГАО) и снижающих процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) биологических мембран. ГАО играют главную роль в защите основных структурных компонентов биомембран, таких как: фосфолипиды (ФЛ) и, погруженные в липидный бислой, белки. Однако, из-за их гидрофобности, применение на практике данных АО ограничено. Весьма перспективными являются разработки по созданию липосомальных (ЛС) форм ГАО. ЛС позволяют создать водорастворимую инъекционную форму ряда ГАО, увеличивая тем самым их биодоступность [10, 18-20]. Целью данного сообщения является обоснование получения ЛС форм ГАО. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: 1) провести анализ

© А. Е. ШАХМАЕВ, Ю. М. КРАСНОПОЛЬСКИЙ, 2012

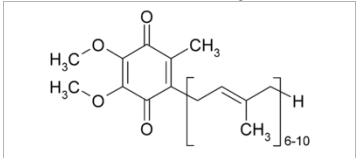
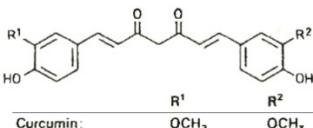
существующих инъекционных форм лекарственных препаратов, содержащих ГАО; 2) разработать метод получения ЛС, содержащих ГАО; 3) определить оптимальный липидный состав, позволяющий максимально включить в ЛС витамин Е и убихинон.

Перечень современных препаратов, содержащих ГАО, которые зарегистрированы в Украине, сравнительно небольшой. В этот список входят «эталонные» препараты, такие как: α -токоферол (α -Т), ретинол, фосфатидилхолин (ФХ), кверцетин (КВ), дигидрокверцетин (ДГКВ) и др. Установлено, что ЛС формы, которые созданы на основе бионанотехнологии, благодаря своему АО-ому, мембранопротекторному и противовоспалительному действию, являются эффективными лекарственными препаратами, способствующими регенерации мембран. В таблице приведены ЛС препараты, содержащие ГАО.

Таблица – Антиоксидантные липосомальные препараты

Наименование препарата	Компания производитель	Активная фармацевтическая субстанция	Основное фармакологическое действие	Стадия изучения
Липин	ПАО Биолек, Харьков, Украина	Фосфатидилхолин яичный (ФХЯ) 	Антигипоксическое, антиоксидантное, мембранопротекторное	Коммерческий препарат
Лиолив		ФХЯ, Антраль Трис-[N(2,3-диметилфенил)антринилат о]алюминий	Гепатопротекторное, антиоксидантное	Коммерческий препарат
Липофлаво н		ФХЯ, Кверцетин 	Кардиопротекторное, антиоксидантное	Коммерческий препарат
Липоферол	Российский НИИ гематологии и трансфузиологии	соевый ФХ, DL альфа-токоферол, 	Антиоксидантное, мембраностимулирующее	Находится на стадии клинического изучения
Антиоксидантно – фосфолипидный липосомальный комплекс «Фламена-D»	Научная компания «Фламена», г. Реутов	ФХ, дигидрокверцетин,  Глицин 	Нормализация обменных процессов кожи, защита от токсического действия свободных радикалов, микролифтинг, капилляр опротекция, лимфодренаж, рассасывание инфильтратов, ускоренная эпителизация, эффект омоложения	Коммерческий препарат

Продолжение таблицы - Антиоксидантные липосомальные препараты

Наименование препарата	Компания производитель	Активная фармацевтическая субстанция	Основное фармакологическое действие	Стадия изучения
Liquid Q® LiQsorb® Liposomal CoQ10 Drops	Tishcon Corp.	Соевый ФХ, α-токоферол, Кoenзим Q10 	Антиоксидантное, противовоспалительное	Коммерческий препарат
Liposomal curcumin	Let's Talk Health®	Лецитин, Куркумин 	Антиоксидантное, противовоспалительное	Коммерческий препарат

Липин – ЛС форма ФХ – препарат природного происхождения, представляющий собой лиофилизированную форму ЛС из ФХЯ. Липин (ЛН) является первым коммерческим ЛС препаратом в мире, разработанным и зарегистрированным в Украине в 1991 году [39].

В Украине был проведен необходимый объем доклинических и клинических исследований ЛН. Полученные результаты клинических исследований позволили рекомендовать ЛН при следующих показаниях:

Пульмонология – синдром острой и хронической дыхательной недостаточности любого генеза у взрослых и детей, в том числе у новорожденных с расстройствами регуляции дыхания, связанными с перенесенной перинатальной гипоксией и асфиксией при родах. Препарат рекомендуется применять с целью профилактики заболеваний, связанных с пребыванием в условиях повышенной запыленности (силикоз, антракоз); При ингаляционном введении ЛН способствует сохранению легочного сурфактанта, что улучшает легочную и альвеолярную вентиляцию легких, увеличивая скорость транспорта O_2 через биологические мембраны, повышая диффузию O_2 из легких в кровь и из крови в ткани, нормализуя процессы тканевого дыхания. Изучение ЛН при острых заболеваниях нижних дыхательных путей у детей с острым обструктивным бронхитом и пневмонией приводило к нормализации фагоцитарной активности, повышению фагоцитарного индекса и количества альвеолярных макрофагов. Проведено лечение больных с хроническим бронхитом в фазе обострения, в основном, рабочих горнодобывающей промышленности. В результате проведенных исследований было установлено, что использование ингаляторного введения ЛН приводит к эффективному разрешению обструкции дыхательных путей; нормализации рО крови, коррекции нарушений липидного и белкового обмена. Кроме того, применение ЛН способствовало уменьшению сроков лечения больных с обструктивным хроническим бронхитом, в среднем, в 2 раза 4 [4,12,14,21,27,38,41].

Акушерство – поздние гестозы, внутрибрюшинная гипоксия плода. Принципиальными являются данные, полученные при исследовании морфофункционального состояния тканей миометрия и плаценты у пациенток, получавших родоактивацию традиционными препаратами (окситоцин, энзапрост) и препаратом ЛН. Установлено, что ЛН улучшает метаболические процессы в миометрии и плаценте, уменьшая проявления тканевой гипоксии, что обусловлено, прежде всего, нормализацией функционального состояния сосудистого русла. Применение ЛН

приводит к активизации Т-клеточного звена иммунитета. Методом кардиотокографии выявлено значительное положительное влияние ЛС на сократительную деятельность матки при родах. Общая продолжительность родового акта была значительно ниже в случае применения ЛН. Кроме того, использование ЛН позволило снизить уровень оперативных вмешательств при родах и послеродовом периоде, снизить кровопотери при родах, улучшить состояние внутриутробного плода и новорожденного. При применении ЛН установлено снижение проявления тканевой гипоксии в миометрии, стимуляцию метаболических процессов в мышечных клетках и интерстициальной ткани, нормализацию местных иммунологических реакций, активации метаболизма миоцитов в соединительной ткани. АО действие ЛН позволяет использовать его для лечения беременных женщин с поздним гестозом. Показано, что включение препарата в терапию беременных с поздним гестозом приводит к нормализации процессов ПОЛ, возрастанию активности АО системы и сокращению сроков лечения. Частота аномалий родовой деятельности уменьшилась в 2,5 раза, несвоевременное отхождение околоплодных вод в 1,5 раза, а кровотечения при родах и в послеродовом периоде наблюдались в 1,2 раза реже. Крайне важным является снижение количества применяемых лекарственных препаратов для лечения беременных женщин в случае использования препарата ЛН [1,20].

Нефрология – острый и хронический пиелонефрит, гломерулонефрит, диабетическая нефропатия, поликистоз, почечная недостаточность [20,25,37,49]. Применение препарата статистически достоверно приводило к снижению уровня креатинина и мочевины в крови, в 3,9 раза снижало активность трансаминазы сыворотки крови, уменьшало проявления уремической гастроэнтеропатии. Изучена эффективность ЛН в комплексной терапии у больных перитонитом. После введения ЛС в 2,4 раза уменьшилось количество загноений послеоперационных ран и в 2,7 раза снизилось количество послеоперационных пневмоний. Больные находились на лечении в больнице $15,4 \pm 2,6$ дня, что в 1,4 раза меньше по сравнению с больными не получавшими ЛН. Проведено изучение препарата ЛН в лечении инфекционно-воспалительного заболевания почек у детей при остром и хроническом необструктивном пиелонефрите в активной стадии.

Кардиология - острый инфаркт миокарда и нестабильная стенокардия. Применение препарата ЛН в раннем периоде инфаркта миокарда значительно снижает риск развития небезопасных нарушений ритма желудочка, повышает эффективность и безопасность лечения наиболее тяжелой категории больных. ЛН снижает процессы ПОЛ, поддерживает активность АО систем организма, проявляет мембранопротекторное действие. У больных, которым для уменьшения негативного действия реперфузии вводился ЛН, не было отмечено нарушений ритма сердца, проявлений сердечной недостаточности, случаев развития аневризмы. Использование ЛН может позволить повысить эффективность лечения и безопасность тромболитической терапии у больных пожилого возраста [5,20]. Высокая клиническая эффективность, практически полное отсутствие противопоказаний к применению, за исключением индивидуальной непереносимости, крайне низкая токсичность позволяют использовать ЛС препарат ЛН для лечения больных в пульмонологии, кардиологии, гастроэнтерологии, акушерстве и гинекологии. Применение ЛН перспективно в стоматологии [3,20] и у онкологических больных [20].

По нашему мнению, роль ЛН при клиническом применении еще недостаточно оценена. Препарат представляет собой модель биологической мембраны и, обладая уникальным фармако-терапевтическим диапазоном, может являться мембранопротектором и АО для большинства биологических мембран организма.

Лиолив. В 2003 году в Украине был лицензирован первый в мире препарат металло-ЛС – Лиолив (ЛЛ), в состав которого входит гепатопротектор – Антраль, который синтезирован в Институте физической химии НАН Украины и представляющий собой координационное соединение металла (алюминия) с аминокарбоновой кислотой, а именно: трис-(N) 2,3-диэтилфенил(антранилато) алюминий [7]. По результатам доклинического изучения установлено, что ЛЛ при парентеральном и энтеральном путях введения при экспериментальном поражении печени различными гепатотоксинами и их комбинациями способствует повышению выживаемости экспериментальных животных, нормализации активности микросомальных ферментов и трансаминаз сыворотки крови, ослабляет действие гепатотоксинов, активизирует репаративные процессы в гепатоцитах, обмен веществ в клетке, результатом чего является нормализация белковосинтетической и липотропной функции печени. О положительном влиянии ЛЛ на течение острого поражения печени свидетельствуют данные патоморфологических исследований печени, отражающие резкое уменьшение дистрофических изменений и усиление процессов регенерации гепатоцитов. Гепатозащитное действие препарата обусловлено ингибированием процессов ПОЛ, поддержкой эндогенных АО систем организма, стабилизацией структуры печени и мембран гепатоцитов, а также функцией неспецифической детоксикации. По данным фармакокинетических исследований, ЛЛ как ЛС композиция сохраняет структурную целостность в кровеносном русле и тканях, а также преимущественно накапливается в печени и селезенке, что подтверждает гепатоспецифичность препарата и соответствует закономерностям фармакокинетики ЛС средств. Наряду с гепатозащитным эффектом, ЛЛ проявляет выраженное пролонгированное противовоспалительное действие [8,9]. Клинические исследования ЛЛ при лечении больных с острым вирусным гепатитом С показали высокие гепатопротекторные свойства препарата. ЛЛ способствует более быстрой регрессии клинических проявлений болезни, в том числе интоксикационного и диспептического синдромов, более раннему наступлению желчного криза, существенно улучшает качество жизни пациентов. Препарат обладает выраженными дезинтоксикационными свойствами, положительно влияет на динамику основных биохимических показателей функций печени, приводит к уменьшению проявлений основных цитолитического, мезенхимально-воспалительного и холестатического синдромов. Продемонстрирована высокая эффективность применения препарата ЛЛ в комплексной терапии хронических гепатитов различной этиологии [46]. Необходимо отметить возможность применения ЛЛ в гинекологии [20]. Так, при использовании ЛЛ проведено лечение 104 больных с острым воспалительным заболеванием придатков матки. Использование металло-ЛС способствовало достижению стойкой клинико-лабораторной ремиссии у 94 % больных основной группы, что в 1,6 раза больше, чем в группе сравнения.

Являясь удобной формой для парентерального введения, созданный на основе ЛС, препарат ЛЛ представляет реальную альтернативу известным гепатопротекторам. Наряду с гепатоспецифичностью фармакокинетики ЛС, механизм действия ЛЛ связан с синергизмом мембранотропных, АО-ных и детоксицирующих эффектов компонентов металло-ЛС композиции [6,23,33,46,55,62-64].

Липофлавон. В 2006 году в Украине был зарегистрирован препарат, представляющий собой ЛС форму биофлавоноида КВ – Липофлавон (ЛФ), который рекомендован для использования в кардиологии и офтальмологии [40]. В патогенезе многих заболеваний (воспалительные и травматические болезни различной этиологии) значительная роль принадлежит активации ПОЛ и воспалительно-деструктивной патологии тканей. Одним из наиболее перспективных АО является флавоноид – КВ, обладающий АО-ыми, противовоспалительными, ангиопротекторными,

ранозаживляющими и другими видами фармакологической активности [59,62,64]. Одной из причин отсутствия КВ в медицинской практике является его низкая биодоступность, что прежде всего, связано с его гидрофобными свойствами. Создать водорастворимую форму КВ возможно, включив его в мембрану ЛС [40]. Для создания водорастворимой формы флавоноида разработан препарат ЛФ, представляющий собой ЛС форму КВ [53,54]. В состав препарата на один флакон входят: КВ – 0,75 мг (глазные капли) или 15,0 мг (инъекционный препарат), ФХЯ и криопротектор - лактоза. Известно, что препараты КВ существенно уменьшают как гемодинамические нарушения, так и объем некротического повреждения при острой ишемии и реперфузии миокарда. Этот эффект обусловлен мембраностабилизирующим действием КВ, о чем свидетельствует резкое торможение деградации мембранных ферментов в ишемизированном миокарде, а также торможение активности липоксигеназ и неферментных прооксидантных реакций. Существует мнение, что важным фактором, определяющим кардиопротекторные свойства КВ, является его способность повышать уровень оксида азота в тканях и эндотелии миокарда. Сложность использования КВ в клинике, как и других гидрофобных АО, прежде всего связана с его гидрофобностью. Создание ЛФ как ЛС формы КВ позволило решить эту проблему. Эффективность ЛФ была показана при лечении острого инфаркта, нестабильной стенокардии, а также реперфузионных нарушений при тромболитической терапии.

Липофлавоны в офтальмологии. Первоначально ЛС форму КВ изучали в модельных экспериментах на животных. Полученные данные позволили перейти к изучению препарата ЛФ в форме глазных капель в клинике. ЛФ в форме глазных капель применяется при поражении роговицы (проникающие и не проникающие); послеоперационных ранах роговицы (после экстракции катаракты); кератитах различного генеза; воспалительных состояниях глаз. Действие препарата основано на противовоспалительных, ранозаживляющих, ангиопротекторных эффектах КВ в ЛС форме [20,29,30]. КВ обладает АО и противовирусным действием, снижает синтез лейкотриенов и патологически повышенную сосудисто-тканевую проницаемость и способствует нормализации тканевой трофики. ЛС структура ЛФ обеспечивает растворимость и офтальмобиодоступность при инстилляциях в форме глазных капель. ЛФ хорошо переносится больными, не вызывает побочных эффектов и аллергических реакций. Препарат эффективен при лечении больных травматическими кератитами, при этом ускоряется время эпителизации, уменьшается длительность сохранения болевых ощущений по сравнению с больными контрольной группы. При применении препарата исчезновение субъективных и объективных жалоб пациентов наступает на 3-4 день после начала лечения. Применение ЛФ способствовало быстрой регрессии воспалительного процесса при комплексном лечении больных после экстракции катаракты с последующей имплантацией. Выявлена эффективность ЛФ в комплексном лечении дегенеративных заболеваний сетчатки. Применение ЛФ способствовало быстрой регрессии воспалительного процесса, повышению активности ферментов АО-ной защиты [53,54]. По нашему мнению, предлагаемый ЛС препарат, содержащий КВ включенный в ЛС, может быть использован для лечения и других заболеваний. Наше мнение основано на широком диапазоне действия КВ: антибактериальных, противовирусных, АО-ных, противовоспалительных и противоопухолевых свойствах данного флавоноида [13,29,31,32,36]. Липофлавоны в кардиологии. Известно, что препараты КВ существенно уменьшают как гемодинамические нарушения, так и объем некротического повреждения при острой ишемии и реперфузии миокарда. Этот эффект обусловлен мембраностабилизирующим действием КВ, о чем свидетельствует резкое торможение деградации мембранных ферментов в ишемизированном миокарде, а

также торможение активности липоксигеназ и неферментных прооксидантных реакций. Существует мнение, что важным фактором, определяющим кардиопротекторные свойства КВ является его способность повышать уровень оксида азота в тканях и эндотелии миокарда. Этот эффект был экспериментально доказан в опытах на культуре эндотелиоцитов пупочной вены человека и в экспериментах *in vivo* с прямым определением уровня оксида азота в миокарде и стенке сосудов кролика и при моделировании процессов ишемии/реперфузии миокарда у собак. Создание ЛФ как ЛС формы КВ позволило решить эту проблему. Эффективность ЛФ была показана при лечении острого инфаркта, нестабильной стенокардии, а также реперфузионных нарушений при тромболитической терапии. У экспериментальных животных на модели острого инфаркта внутривенное введение ЛФ приводило к стабилизации электрической активности сердца, улучшению коронарного кровообращения и уменьшению зоны некроза в два раза. Препарат оказывал выраженный противоаритмический эффект. По-видимому, терапевтический эффект ЛФ обусловлен комплексным действием компонентов препарата и его ЛС структурой: блокадой липооксигеназного пути метаболизма арахидоновой кислоты за счет присутствия в препарате КВ, а также антигипоксическим, АО-ным и мембранопротекторным действием ЛС из ФХ. Установлена безопасность и отсутствие побочных реакций (аллергических, иммунотоксичных, местнораздражающего действия) при введении препарата. При исследовании ишемической болезни сердца установлено, что терапия ЛФ больных в течение 7 дней приводит к клиническому улучшению течения заболевания: уменьшению тяжести частоты приступов стенокардии, уменьшению объема необходимой поддерживающей терапии, в том числе, антигипертензивных препаратов. ЛФ обладает антиагрегатными, эндотелиопротекторными свойствами, улучшает реологические свойства крови и кровотоков в микрососудах. Проведены исследования эффективности ЛФ в комбинации с другим известным антигипоксантом – ацелизином в условиях экспериментальной хронической сердечной недостаточности. Предметом исследования было изучение влияния приведенной комбинации на состояние энергетических ресурсов, активности ферментов энергетического метаболизма – лактатдегидрогеназы и креатинфосфокиназы. Было показано, что использование ЛС формы КВ в комбинации с ацелизином позволяет на 7 сутки наблюдения существенно снижают в сыворотке крови и миокарде интенсивность процессов ПОЛ. Лечение позволяет предупредить снижение активности ферментов, таких как СОД и каталаза. Было установлено, что ЛФ обладает антирадикальными и АО-ыми свойствами. На основании проведенных исследований [2,15,17,26,44,47, 53,54,56] в клинике было рекомендовано применение ЛФ в комплексной терапии при остром инфаркте миокарда без патологического в комплексной терапии при остром инфаркте миокарда без патологического зубца Q и нестабильной стенокардии приводит к более быстрой положительной динамике активности МВ-фракции креатинфосфокиназы в сыворотке крови, препятствует повышению уровня противовоспалительного цитокина интерлейкина-8, способствует электрической стабильности миокарда; при лечении стабильной стенокардии способствует уменьшению тяжести приступов стенокардии, снижению агрегации тромбоцитов, улучшению реологических показателей крови (снижению вязкости крови и агрегации эритроцитов) и микроциркуляции. Работы по исследованию эффективности применения ЛС препарата ЛФ при различных патологиях появляются постоянно. Только за последние три года появились сообщения об успешном применении ЛФ при лечении: кардиологических заболеваний, установлена возможность коррекции изменений цитокинового гомеостаза и диастолической дисфункции левого желудочка у больных артериальной гипертензией; диабетической ретинопатии – введение ЛФ приводит к

высокой эффективности лечения, что сопровождается уменьшением противовоспалительных цитокинов IL-1 β и TNF- α на 17,0% и 14,5 %, соответственно. При использовании терапии без ЛФ уменьшение цитокинов составляло: IL-1 β на 9,5% и TNF- α на 4,9 % [17]; моторной дисфункции желудка на фоне сахарного диабета 1 и 2 типов; снижения функции дыхательной системы. Особо хотелось бы отметить возможность регенерации нервной ткани: установлено, что при травмах периферических нервов при добавлении КВ в ЛС-форме увеличивается количество нервных волокон и активируется регенерация, что ускоряет прорастание и миелинизацию нервных волокон [48,50]. Опубликованы данные, подтверждающие возможность внутривенного использования ЛФ для лечения больных псориазом [34].

Фламена-Д - ЛС форма ДГКВ. «Фламена-Д» предназначен для восстановления свойств и защиты клеточных мембран клеток тканей, нормализации клеточного метаболизма, синтеза необходимых аминокислот, улучшения микроциркуляции крови и лимфы [11,28]. В состав комплекса входят наночастицы размером от 60 до 350 нанометров с проникающей способностью 1 мм в час, в том числе и в глубокие слои кожи. Продукт не содержит красителей, добавок и консервантов.

Действующими веществами ЛС являются: – ФХ (3,0 %) и ДГКВ-(0,4%). ФХ, входящий в состав ЛС удаляет избыточный холестерин из клеточных мембран; приводит к регенерации мембран; вытесняет из мембран токсические вещества; является строительным материалом для делящихся и растущих клеток; является источником биологически активных веществ (фосфора, холина, полиненасыщенных жирных кислот). В свою очередь ДГК, обладая АО-ным действием – тормозит процессы ПОЛ клеточных мембран с предупреждением появления свободных радикалов и преждевременное старение клеток; оказывает капилляропротекторное действие, улучшает микроциркуляцию крови, в т.ч. и в капиллярах; оказывает антитоксическое действие; нормализует биохимические реакции организма, подверженные свободнорадикальному воздействию, за счет блокады последнего [11].

Проведено [28] исследование действия ЛС формы ДГКВ на процесс регенерации кожи после термического ожога крыс. Животных распределили следующим образом: 1-я группа – термический ожог (контрольная группа) и 2-я группа – термический ожог (подопытная группа) с ежедневным 4-разовым смазыванием поверхности раны препаратом «Фламена Д». При ожоговой травме в зоне поражения наблюдались первичные анатомические и функциональные изменения, реактивно-воспалительные процессы. В контрольной группе сразу после ожога область термического поражения имела четкие границы, было заметно начало формирования ожогового пузыря, на коже вокруг раны наблюдалось значительное покраснение. Через 72 часа наблюдалось увеличение травмированной поверхности в 1,2–1,3 раза с признаками воспаления и некроза [28]. В экспериментальной группе через 72 часа расширения поврежденной поверхности и увеличения паранекротической области не наблюдалось. Было отмечено формирование раневого струпа ровной формы, под его поверхностью наблюдалось равномерное заживление. Признаков воспаления авторы не обнаружили, площадь ожоговой области через 3 суток была уменьшена на 15 $\pm$ 3%. Гистологические исследования через различные интервалы времени после термического ожога показали, что, в контрольной группе животных (через 5 суток после ожога) четко наблюдалось разрушение эпидермиса и деструктивные процессы в дерме. При изучении срезов, полученных с животных, леченных «Фламена Д» авторы под остатками некротической ткани обнаружили разрушенный участок эпидермиса, а рядом – прилегающий участок с признаками регенерации, на котором были видны все составляющие его слои. Под эпидермисом в дермальном слое были видны хаотически расположенные

фибробластоподобные клетки. Наблюдалось увеличение количества пролиферирующих клеток как в базальном слое эпидермиса, так и на незначительном удалении от границ повреждения в сосочковом и сетчатом слоях дермы. Через 10 суток в контрольной группе авторы продолжали наблюдать деструктивные участки кожи в районе термического ожога: был разрушен эпидермис, повреждены волосяные фолликулы, сальные железы и прилежащие соединительные ткани. В экспериментальной группе после регулярной обработки раны «Фламена D» через 10 и 15 суток после ожога была видна демаркационная линия между разрушенными и регенерирующими слоями, была отмечена активация клеток базального слоя. В дермальном слое были четко видны клетки в разных фазах митоза. В контрольной группе через 15 суток после ожога были отмечены дегенерация волосяных фолликулов и нарушение строения подлежащих слоев дермы, а в экспериментальной же группе в области регенерирующего эпидермиса было отмечено формирование новых волосяных фолликулов, намного лучше сохранена и способна к восстановлению структура сальных желез. На основании полученных данных, авторы приходят к выводу о том, что препарат «Фламена D» является эффективным средством для местного лечения ран после термического ожога.

α-токоферол (витамин E) в ЛС форме. α-Т блокирует участие O₂ в окислении полиненасыщенных жирных кислот, проявляет высокое АО-ное действие, принимает участие в процессах фосфорилирования. Поддерживает нормальную функцию половых желез, улучшает репродуктивные процессы. Тормозит синтез холестерина, снижает потребность миокарда в O₂, улучшают кровоснабжение тканей, в том числе и миокарда, предупреждает повышение проницаемости и ломкости капилляров и т.д.

Рассмотрим некоторые примеры использования α-Т в ЛС препаратах.

Липоферол (ЛПФ) – ЛС препарат α-Т для внутривенного введения. α-Т обладает АО свойствами, т.е. защищает полиненасыщенные жирные кислоты и липиды клеточных мембран от перекисного окисления и повреждения свободными радикалами. α-Т может выполнять структурную функцию, взаимодействуя с ФЛ биологических мембран. Имеются данные, что *in vitro* α-Т снижает продукцию простагландина и уменьшает агрегацию тромбоцитов [35].

В состав препарата входят ФЛ сои, α-Т, сорбит-фосфатный буфер [35]. Препарат ЛПФ находится на стадии клинического изучения. ЛПФ рекомендовано применять: при ожоговом шоке, шокогенной травме, токсемиях различного происхождения, токсических и инфекционных гепатитах. ЛПФ обладает АО-ым и мембраностабилизирующим действием: АО действие обусловленное наличием в составе препарата α-Т, усилено благодаря его ЛС форме и проявляется в предупреждении развития ПОЛ, инактивации свободнорадикального окисления, увеличении доставки O₂ к органам и тканям; мембраностабилизирующее действие ЛПФ обусловлено наличием в его составе ФЛ, которые способствуют предупреждению развития нарушений, ускорению восстановления нарушенных структуры и функции клеточных мембран и органелл, обеспечивая гепатопротекторное действие. Также ЛПФ способствует стабилизации мембран эритроцитов и уменьшению агрегационных свойств тромбоцитов, улучшая, тем самым, реологию крови. По данным авторов, ЛПФ безвреден, нетоксичен, не вызывает аллергических реакций и не накапливается в организме вследствие полного метаболизма [35].

Нами были изучены свойства ЛС, содержащих ГАО – α-Т. В липидное масло включали α-Т в соотношении 1:10 и 1:20 к основному компоненту – ФХ. ЛС получали методом экструзии. Полученные образцы ЛС подвергали стерилизующей фильтрации, замораживанию и лиофилизации. Соотношение ФХ к криопротектору - лактозе составляло 1:2. Нами установлено, что включение α-Т составляло 100 % для

соотношения 1:20 и 60 % для соотношения 1:10 после регидратации образцов в воде для инъекций. Размер основной массы наночастиц (до 95 %) до лиофилизации составлял – от 25 до 100 нм, после регидратации частицы были несколько крупнее: максимальный размер ЛС не превышал 100 нм. В то же время, размер более мелких ЛС был несколько больше: до лиофилизации наночастицы с размером 25-35 нм были представлены в количестве 20, 53 %, а после лиофилизации частиц с указанным размером сократился до 10,87 %; до лиофилизации частицы 40-100 нм - 66,0%, после лиофилизации – 80,78 %. Диспергирование сухих образцов происходит с восстановлением исходных наноразмерных ЛС. Обращает на себя факт того, что размеры наночастиц в образцах с различным содержанием α -Т не отличаются. Необходимо отметить, что стерилизующая фильтрация, помимо основной задачи – освобождения от бактериальной контаминации, приводила к стандартизации и стабилизации ЛС. Включение активной фармацевтической субстанции в бислой ЛС является весьма перспективным. По сравнению с инкапсулированием в водный объем наночастиц, включение в бислой позволяет улучшить фармакологические свойства системы доставки в целом, благодаря уменьшению потерь лекарства как в кровотоке, так и при взаимодействии ЛС с клеткой.

В настоящее время проводятся исследования, направленные на создание лекарственных препаратов для офтальмологии, например, глазных капель на основе ЛС. ЛС были получены на основе синтетических ФЛ: дипальмитоилФХ и диолеоилФХ в массовом соотношении 7:3. В состав ЛС был введен α -Т. Авторами была получена модель галактозной катаракты. ЛС препарат, содержащий α -Т закапывали два раза в день. Обнаружено, что местное закапывание замедляет прогрессирование катаракты, причем, по мнению авторов, в основном, благодаря АНТ действию α -Т, который содержался в ЛС [70].

α -Т также влияет на синтез коэнзима Q10 (Q10). У крыс, получавших рацион с недостаточным содержанием токоферолов, снижалось количество коэнзима Q10 в тканях, особенно в печени. Введение в рацион животных α -Т полностью восстанавливало это содержание. По мнению авторов, влияние α -Т на процессы восстановления и окисления в организме опосредовано его действием на Q10. Известен коммерческий препарат α -Т для применения per os - Liposomal vitamin E - по 150 мл во флаконе.

Коензим Q10 (убихинон) в липосомальной форме. В организме основная роль коэнзима Q10 (Q10) – это перенос электронов, благодаря своей гидрофильности, через мембрану митохондрий. Q10 участвует в процессах синтеза энергии в организме, а также в качестве кофермента в окислительно-восстановительных реакциях. По большей части Q10 влияет на липидный обмен, нормализуя, как общий уровень холестерина, так и соотношение холестеринных фракций. Q10 играет также важную роль в процессе сокращения сердечной мышцы и работе скелетной мускулатуры. Кофермент Q10 принимает участие в реакциях окислительного фосфорилирования, является компонентом цепи переноса электронов в митохондриях. Кофермент Q10 является компонентом цепи переноса электронов, принимает участие в переносе электронов с NADH-дегидрогеназного комплекса (комплекс I) и сукцинатдегидрогеназного комплекса (II) на комплекс III, и, таким образом, участвует в синтезе АТФ. Также кофермент Q10 является антиоксидантом и, в отличие от других антиоксидантов, регенерируется организмом. Кроме того, кофермент Q восстанавливает АО активность — α -токоферола.

Известен эффект Q10 при применении *in vivo* в качестве АНТ в лечебных и косметических целях. Однако биодоступность свободного Q10 при местном применении крайне низкая. Для повышения биодоступности гидрофобного соединения оправданным является включение его в наночастицы. Q10 было предложено инкапсулировать в ЛС,

состоящие из ФХ сои и α -Т. Размер полученных ЛС - не более 200 нм и был представлен в узком интервале распределения. Инкапсуляция Q10 в ЛС достоверно ($p < 0,05$) увеличивало его накопление в коже крыс по крайней мере в два раза, по сравнению со свободной формой коензима. Данные исследования демонстрируют перспективность применения ЛС формы эндогенного клеточного АНТ коензима-Q10 для применения в дерматологии и косметологии [68].

Рядом авторов проведено исследование Q10 [75] на кроликах с острым экспериментальным инфарктом миокарда. Животным вводили интактные ЛС и ЛС с включенным в них Q10. Оба препарата были введены с помощью внутрикороной инфузии. Общий размер пораженной зоны сердца у всех животных составлял около 20 % массы сердечной мышцы. После проведения лечения получены следующие результаты: необратимое повреждение у животных, получавших Q10 в ЛС составляло около 30 % от общей площади поражения сердца; необратимое повреждение у животных, получавших интактные ЛС составляло около 60 % от общей площади поражения сердца. Авторы пришли к выводу, что введение ЛС формы Q10 эффективно защищает сердечную мышцу кроликов, поврежденную инфарктом за счет повышения внутриклеточной доставки Q10 в гипоксические кардиоциты. Это подтверждается значительным снижением доли необратимо поврежденного сердца в общей зоне риска. Полученные данные подтверждают возможность ЛС коензима Q10 служить эффективным экзогенным источником Q10 *in vivo* для защиты клеток сердца при инфаркте миокарда.

В течение последних лет в офтальмологии проводятся исследования, направленные на создание лекарственных препаратов, например, глазных капель на основе ЛС [66]. Представляет интерес работа авторов [77], посвященная лечению катаракты ЛС, в состав которых входит Q10 и покрытых триметил хитозаном. Катаракту у лабораторных животных индуцировали при использовании селенита. Антикаатарактный эффект оценивали по морфологическому исследованию и анализу биохимических изменений. Установлено, что ЛС, покрытые триметил хитозаном высокой молекулярной массы удерживались в ткани глаза почти в 4,8 раза дольше. ЛС препарат с Q10 проявлял высокий эффект против катаракты при 53 % помутнении хрусталика. Активность СОД и восстановленного глутатиона была значительно выше в группе леченной ЛС коензимом -Q10 по сравнению с не леченным контролем [77].

Исследования в США (университет в Техасе) показали, что 75 % всех пациентов с заболеваниями сердца обнаруживается существенное снижение содержание в тканях организма Q10. В Дании проведены исследования больных раком молочной железы (32 человека). В этом исследовании изучена эффективность Q10 в качестве дополнительной терапии. В результате все пациенты, принимавшие Q10, сообщали, что они использовали меньше обезболивающих и не теряли вес во время химиотерапии. Кроме того, у 6 пациентов выявлены признаки полной ремиссии, которые не были предусмотрены у онкологов. Q10 можно включать в состав ЛС вместе с другими АО. При этом Q10 будет способен регенерировать α -Т, что позволит использовать этот ГАО в меньшей концентрации.

За последнее время опубликованы результаты исследований по получению ЛС различного состава, содержащих Q10 и методов их анализа. В зависимости от состава ЛС их размер варьировал от 50 нм до 80 нм. Степень включения Q10 в ЛС составляла от 82,28 % до 95 %. В состав ЛС входили: соевый ФХ и холестерин в различных соотношениях. Соотношение ФХ : Q10 от 2,5 : 1 до 10:1 [67, 76].

Нами были изучены свойства ЛС, содержащих ГАО – Q10. В липидное масло включали Q10 в соотношении 1:10 и 1:20 к основному компоненту – ФХ. В эмульсии, полученной методом экструзии, содержался 1 мг/мл и 0,5 мг/мл, соответственно.

Полученные образцы ЛС подвергали стерилизующей фильтрации, замораживанию и лиофилизации. Соотношение ФХ к криопротектору - лактозе составляло 1:2. Нами установлено, что включение Q10 составляло 95-98 % для соотношения 1:20 (0,48 мг/мл) и 64 % для соотношения 1:10 (0,64 мг/мл) после регидратации образцов в воде для инъекций. До лиофилизации распределение частиц по размерам следующее: для 0,48 мг/мл – 42 – 100 нм – 36,7%, 100 -220 нм – 53,63% ; для 0,64 мг/мл – 150- 180 нм – 31,12 %, 220 – 320 нм – 65,97%. После регидратации лиофилизированных образцов распределение частиц по размерам следующее: для 0,48 мг/мл – 34 –100 нм – 80,91 %, 100 -146 нм – 15,77 %; для 0,64 мг/мл – 12 - 42 нм – 99,97 %. Обращает на себя внимание факт того, что диспергирование сухих образцов происходит с восстановлением исходных наноразмерных ЛС т.е. частицы сохранены в наноразмерах. Неожиданным для нас явилось снижение размеров частиц с Q10, особенно при концентрации 0,64 мг/мл. Последний факт требует проведения дополнительных исследований.

Обращает на себя факт того, что размеры наночастиц в образцах с различным содержанием витамина Q10 отличаются. Необходимо отметить, что стерилизующая фильтрация, помимо основной задачи – освобождения от бактериальной контаминации, приводила к стандартизации и стабилизации ЛС. Включение активной фармацевтической субстанции Q10 в бислой ЛС является весьма перспективным.

В настоящее время существует два коммерческих ЛС препарата, содержащих Q10: LiQsorb^R Drops (liposomal CoQ10), зарегистрированный в октябре 2005 года (США) и Liposomal Q10 - для применения *per os* (Liposomal curcumin, эмульсия по 150 мл во флаконе).

Куркумин (КМ) в ЛС форме – основной куркуминоид, входящий в состав корня куркумы. КМ является полифенолом, оранжево-желтые кристаллы не растворимые в воде, но легко растворимы в спирте. КМ - биофлавоноид обладает высокой АО-ной и противовоспалительной активностью. Постоянное употребление КМ уменьшает концентрацию холестерина в крови, предотвращает окисление липидов крови, подавляет агрегацию тромбоцитов и их адгезию на сосудистой стенке, снижает развитие катаракты. Описана противоопухолевая активность КМ. Последние годы появляются работы о изучении фармакологической активности КМ, в том числе, и в составе ЛС.

Исследователи из Мичиганского Университета установили, что КМ, найденный в специи куркума оказывается эффективным средством для предотвращения болезни Паркинсона. Первым шагом к возникновению этой болезни, является слияние α -синуклеина, состоящего из 140 аминокислот. КМ может помочь предотвратить слияние белка, прочно связываясь с α -синуклеином, тем самым, ускоряя его движение, препятствует слипанию [57,58]. Предполагают, что образование телец Леви связано с патологической агрегацией α -синуклеина, обусловленной нарушениями его метаболической деградации в клетке, расстройством аксомального транспорта. Тельца Леви обнаружены при болезнях Паркинсона и Альцгеймера. Необходимо отметить, что КМ практически не проникает через ГЭБ. Лекарственный препарат созданный на основе КМ, одного из компонентов желтого карри позволяет больным с инсультом быстрее восстановить здоровье – утверждают американские ученые после успешного завершения экспериментов на лабораторных животных, у которых препарат уменьшает последствия паралича и улучшение движения. В ходе эксперимента в лаборатории была создана модель воспаления сухожилия (тенденита). Выяснилось, что КМ способен снижать активность интерлейкиновых ключевых медиаторов воспаления. Это вещество не вызывает столь сильных нежелательных реакций организма как нестероидные противовоспалительные препараты или инъекции стероидов.

Трудность применения КМ прежде всего связана с его гидрофобностью, что в свою очередь снижает его проникновение в клетки организма. Существенно изменяет положение, возможность включения КМ в ЛС или полимерные наночастицы. Takahashi M. сообщил, что КМ в ЛС из природного ФХ в виде пищевой добавки позволяет в 4 раза увеличить проникновение КМ в ткани организма лабораторных животных. При этом снижается накопление β -амилоидов в мозге. По мнению исследователей, препарат обладает противораковым и АО эффектом. Обнаружено влияние ЛС препарата на модели болезни Альцгеймера, инфаркта миокарда и инсульта [74]. Размер таких ЛС составлял около 260 нм, включение КМ в бислой - 68 %. Результаты показали, что содержание ЛС-КМ в крови (320 мкг/л) также 5 раз превышало его количество в крови животных, получавших свободную форму КМ (65 мкг/л).

В Университете Джонса Хопкинса (США) созданы полимерные наночастицы, способные преодолевать выработанную злокачественными опухолями устойчивость к традиционному противораковому препарату антрациклиновому антибиотику доксорубину. В состав этих наночастиц кроме доксорубина был введен КМ. Использование наночастиц позволяет защитить сердечную мышцу от побочного действия, вызванного токсическим действием самого доксорубина и ограничивающих возможности химиотерапии антибиотиком, даже, если устойчивость к доксорубину не возникла. В лабораторных экспериментах на крысах было показано значительное снижение токсичности доксорубина с КМ в наночастицах [61].

Существуют данные о эффективном лечении опухолевых заболеваний (снижение ангиогенеза и регрессия опухоли поджелудочной железы в модельных экспериментах) при использовании ЛС формы КМ [60]. В настоящее время уже предложены ЛС коммерческие препараты для применения *per os*. (Liposomal curcumin, эмульсия по 150 мл во флаконе). Необходимо отметить, что в настоящее время интенсивно проводятся фармакологические исследования различных форм КМ, обладающих терапевтическим эффектом и выраженным АО-ным действием [71, 73].

В заключение хотелось бы отметить, что получение ЛС форм лекарственных препаратов, содержащих гидрофобные АНТ соединения весьма перспективны. По нашему мнению, сегодня созданию и клиническому применению природных АО в ЛС форме уделяется недостаточное внимание, их роль недооценена. ЛС формы ГАО обладают несомненными преимуществами: ЛС создают водорастворимую форму ГАО веществ, позволяют влиять на процессы ПОЛ в клетке, стабилизируют ФЛ в ЛС мембране и снижают их окисление. Мы остановились на нескольких примерах, которые позволили нам представить роль этих оригинальных лекарственных препаратов. Эти соединения обладая выраженным АО-ным действием, проявляют мембранопротекторные свойства, что в свою очередь позволяет рассматриваемым ЛС препаратам быть незаменимыми в кардиологии, гепатологии, дерматологии, неврологии и других направлениях медицины. Полученные нами данные по включению ГАО (α -токоферол и коензим Q10) в липосомы демонстрируют возможность получения ЛС антиоксидантных препаратов с высоким включением гидрофобных соединений в бислой искусственной биологической мембраны.

Список литературы: 1. Акімова І. К. Ліпін у комплексному лікуванні вагітних жінок з пізнім гестозом / І. К. Акімова, І. Т. Говоруха, О. В. Стефанов, О. Д. Якубенко // Ліки. – 1995. – №5. – С. 39-43. 2. Антипова С. В. Опыт применения Липофлавона для предупреждения развития кардиологических осложнений у больных операбельным раком молочной железы, получавших лечение антрациклинами / С. В. Антипова, А. В. Шенников, О. Д. Рябцева // Проблемы сучасної медичної науки та освіти. – 2009. – № 2. – С. 44-46. 3. Бабай О. Н. Эффективность применения «Липина» в комплексном лечении генерализованного пародонита / О. Н. Бабай, А. Ф. Зубкова, Ю. М. Краснопольский // Стоматология. – 2003. – Т. 61. № 5. – С. 34-35. 4. Белоус О. Б.

Гипоксический синдром при железо-дефицитных анемиях у беременных и его коррекция с использованием фосфатидилхолиновых липосом / О. Б. Белоус – 2003. Авт. канд. дис. на соиск. уч. степ. канд. мед. наук - 24 с. **5. Безкаравайный Б. А.** Препараты природного фосфатидилхолина: перспективы и применение в педиатрии / Б. А. Безкаравайный, М. И. Когутницкая. – Журнал Здоровье ребенка. 2007. Том 6. № 9. – С. 26-31. **6. Григорьева А. С.** Оптимизация фарматерапевтической активности биометаллов при комплексообразовании с НПВС. / А. С. Григорьева - Микроэлементы в медицине. –2001. –Т. 2. № 1. – С. 17-22. **7. Григорьева Г. С.** Спосіб отримання ліпосомального гепатопротекторного засобу / Г. С. Григорьева, Н. Ф. Конахович, О. В. Стефанов, М. Б. Рябушев, Ю. М. Краснополяський, Ю. П. Теміров // Патент України № 46528. 2003. **8. Дроговоз С. М.** Актуальные проблемы фармакологов Украины при поиске новых гепатопротекторов // С. М. Дроговоз Перспективы создания синтетических гепатопротекторов в Украине: Матер. республ. науч. – практич. конф. – Харьков, 1993. – С.7-8. **9. Дроговоз С. М.** Современные подходы к терапии заболеваний гепатобилиарной системы / С. М. Дроговоз, Е. Г. Щекина, А. Ушакова // Провизор.– 2008.– № 8. – С. 27-34. **10. Дудниченко А. С.** Липосомальные лекарственные препараты в эксперименте и клинике / А. С. Дудниченко, Ю. М. Краснополяський, В. И. Шве́ц // Харьков: РА-Каравелла, 2001. – 143 с. **11. Жердев В. П.** Сравнительная фармакокинетика дигидрокверцетина у крыс после введения внутрь в виде субстанции и липосомального препарата Фламена D / В. П. Жердев, Г. Б. Колыванов, А. А. Литвин, А. К. Сариев и др. // Экспериментальная и клиническая фармакология. – 2010. – Т. 73, №1. – С. 23-25. **12. Зубаренко О. В.** Застосування Ліпіну при гострих захворюваннях нижніх дихальних шляхів у дітей. / О. В. Зубаренко, Л. Г. Кравченко, Н. Г. Лотин, О. М. Ніколайчук, Г. Д. Чухрій // Педіатрія, акушерство та гінекологія.– 2004.– № 3. – С. 68-69. **13. Иванова Н. В.** Применение модифицированного способа лечения диабетической ретинопатии / Н. В. Иванова, Н. А. Ярошева. – Таврический медико-биологический вестник.– 2010.– Т. 13. № 1. – С. 72-78. **14. Кешичан Е. С.** Применение препарата Липин для коррекции газообмена в легких у новорожденных детей, перенесших продленную искусственную вентиляцию легких / Е. С. Кешичан, Ю. М. Краснополяський, Е. П. Титова, Л. Г. Нисан - 2-й Российский Национальный конгресс "Человек и лекарство" 1995. Москва - С. 162-163. **15. Кириченко С. В.** Кверцетин-вмісні ліпосоми відновляють функціональну активність каналів у гладеньких м'язцях аорти опромінених щурів / С. В. Кириченко, С. М. Тишкін, А. І. Соловйов // Фармакологія та лікарська токсикологія. 2008.– № 1-3. – С. 48 - 52. **16. Ковалев В. Б.** Механизмы лечебного действия биофлавоноида кверцетина / В. Б. Ковалев, В. В. Ковган, Е. Ю. Колчина // Український медичний альманах.– 1999.– Т. 2. № 4. – С. 176-184. **17. Кожанова Т. А.** Возможности коррекции изменений цитокинового гомеостаза и диастолической дисфункции левого желудочка у больных артериальной гипертензией / Т. А. Кожанова. – Таврический медико-биологический вестник.– 2010.– Т. 13. № 3. – С. 117-122. **18. Краснополяський Ю. М.** Липидная технологическая платформа для создания новых лекарственных форм и транспорта фармацевтических субстанций / Ю. М. Краснополяський, А. Е. Степанов, В.И. Шве́ц // Биофармацевтический журнал. – 2011.– Том 3. № 2.– С. 10–18. **19. Краснополяський Ю. М.** Получение комплексного препарата липосом. / Ю. М. Краснополяський, А. С. Григорьева, Н. Ф. Конахович, В. И. Шве́ц -Материалы конгресса. Часть 1. 2011. «Биотехнология: состояние и перспективы развития» VI Московский международный конгресс. С. 411-414. **20. Краснополяський Ю. М.** Фармацевтическая биотехнология: бионанотехнология в фармации и медицине. / Ю. М. Краснополяський, А. С. Дудниченко, В. И. Шве́ц // Харьков: Издательский центр НТУ «ХПИ», 2011.–227 с. **21. Крутикова М. С.** Влияние фосфатидилхолиновых липосом на показатели окислительной модификации белков при гипоксии у больных циррозом печени / М. С. Крутикова – Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины.– 2011. –Т. 1. № 2. – С. 41-43. **22. Кукурудз Н. І.** Стан процесів вільнорадикального окислення ліпідів у хворих на генералізований пародонтит та їх корекція амізоном у поєднанні з ліпофлавоном / Н. І. Кукурудз, В. І. Горелюк. – Медична хімія.– 2006.– Т.8. № 4. – С. 74-78. **23. Кундиев Ю. И.** Влияние металлолипосом на структурно-функциональное состояние клеток *in vitro* и *in vivo* / Ю. И. Кундиев, А. С. Григорьева, Л. Н. Горбань, А. А. Волобоева, А. В. Стефанов - Доклады Академии Наук Украины, 1994.– №4. – С.154-159. **24. Лігоненко О. В.** Динаміка цитологічних змін експериментальних гнійних ран при використанні в комплексному лікуванні естрогенів та

ліпосом / О. В. Лігоненко, І. І. Дігтяр. - Український журнал хірургії. - 2008. - № 2. - С. 85-88. **25.** Лимарин В. А. Влияние фосфатидилхолиновых липосом (Липина) на липополисахарид-индуцированную лимфоидную (лейкоцитарную) регуляцию синтеза цитокинов клетками эпителия бронхов с сочетанным течением ХОЗЛ и анемического синдрома у лиц, перенесших туберкулез легких / В. А. Лимарин, М. Н. Гришин - Таврический медико-биологический вестник. - 2011. - Т. 14. № 1. - С. 92-96. **26.** Максютин Н. П. Використання нових лікарських форм кверцетина при ішемічних та радіаційних ушкодженнях / Н. П. Максютин, О. О. Мойбенко, О. М. Пархомко та ін. // Методичні рекомендації. - Київ. - 2006. - 13 с. **27.** Мухин И. В. Мембранопротективные свойства липосомальных препаратов при коморбидной ренопульмональной патологии / И. В. Мухин, И. Н. Родин - «Питання експериментальної та клінічної медицини». Збірник статей. - 2009. - Т. 2. випуск 13. - С. 63-67. **28.** Наумов А. А. Благотворное действие липосомальной формы дигидрокверцетина на процесс регенерации кожи после термического ожога / А. А. Наумов, М. М. Поцелуева - Цитология. - 2010. - Т. 52, № 4. - С. 311-316. **29.** Нечепай Ж. А. Роль расстройств углеводного обмена в прогрессировании моторной дисфункции желудка на фоне сахарного диабета 1 и 2 типов в динамике лечения Липофлавона и Ребамипида. Клиническая и эксперимент. патология. - 2009. - Т. 8. № 3. - С. 67-69. **30.** Пасечникова Н. В. Предварительная оценка противовоспалительного действия препарата «Липофлавон» у пациентов после экстракапсулярной экстракции катаракты. / Н. В. Пасечникова, Р. А. Горишкова, Т. Б. Гайдамака // Офтальмологический журнал. - 2005. - № 3. - С. 23-25. **31.** Пасечникова Н. В. Клинико-биохимическое обоснование применения препарата «Липофлавон» у больных возрастной катарактой после операции экстракции катаракты и имплантации продуктов перекисного окисления / Н. В. Пасечникова, Р. А. Горишкова. - Украинский мед. альманах. - 2006. - Т. 9. № 1. - С. 219-221. **32.** Петруня А. М. Эффект применения глазных капель и инъекционной формы препарата Липофлавон у больных непролиферативной диабетической ретинопатией / А. М. Петруня, А. В. Спектор. - Офтальмологический журнал. - 2007. - № 2. - С. 36-39. **33.** Полуян Л. В. Металлолипосомальная коррекция клинико-биохимических и иммунологических показателей в комплексном лечении больных с острым сальпингоофоритом. / Л. В. Полуян - Автореф. Дис. на соиск. уч. степ. к. мед. наук. Харьков. 2003. - 23 с. **34.** Притуло О. А. Клиническая эффективность использования Липофлавона для коррекции цитокинового дисбаланса у больных псориазом / О. А. Притуло, Кауд Дия. - Дерматология, косметология, сексопатология. - 2008. - № 1-2. - С. 57-59. **35.** Российский НИИ гематологии и трансфузии [Электронный ресурс] : Липоферол - липосомальный препарат антиоксидантного действия для внутривенного введения. - Санкт-Петербург, [199-?] . - Режим доступа <http://www.bloodscience.ru/cgi-bin/generator.pl?id=4.14> свободный. — Загл. с экрана. **36.** Спектор А. В. Применение Липофлавона и иммунофана в комплексной терапии больных непролиферативной диабетической ретинопатии и их влияние на показатели местного иммунитета глаз. - Украинский медицинский альманах. - 2008. - Т. 11. № 6. - С. 161. **37.** Степанова Н. М. Застосування фосфоліпідів, модифікованих методом ліпосомальної технології, в лікуванні хворих з хронічною нирковою недостатністю. Лікарська справа. - 2003. - № 7. - С. 74-76. **38.** Стефанов А. В. Биологический эффект липосом при гипоксических состояниях различной этиологии. / А. В. Стефанов, В. П. Помаров, Д. А. Минсеймик и др. Вестник АМН СССР 1991. - № 6 - С. 47-51. **39.** Стефанов А. В. Спосіб одержання ліпосомального препарату / А. В. Стефанов, Ю. П. Теміров, Ю. М. Краснополяський // Патент України 1995. № 5654. **40.** Стефанов А. В. Спосіб отримання ліпосомального засобу, що містить кверцетин / А. В. Стефанов, Г. С. Григорьева, А. І. Соловьев, Н. В. Пасечникова, А. С. Хромов, Н. Ф. Конахович, Ю. М. Краснополяський // Патент України, 2006; № 76393. **41.** Стефанов О. В. Фармакокінетика Ліпіну при інтрахеальному введенні / О. В. Стефанов, В. О. Юхимець, С. О. Бригинський // Ліки. - 1995. - № 5. - С. 29-34. **42.** Торгалло Є. О. Вплив кверцетину та ліпофлаону на ферменти антиоксидантного захисту при цереброваскулярній патології (геморагічному інсульті) / Є. О. Торгалло, Я. Б. Раєцька, Т. П. Гарник, Л. І. Остапченко // Фітотерапія: Науково-практичний часопис. - 2010. - № 1. - С. 19-22. **43.** Торгалло Є. О. Особливості процесів вільнорадикального окислення ліпідів за умов експериментального геморагічного інсульту, а також вивчення дії антиоксидантних препаратів / Є. О. Торгалло, Я. Б. Раєцька, О. В. Богданова, Л. І. Остапченко, О. В. Дробінська // Проблеми сучасної медичної

науки та освіти.– 2009.– № 2. – С. 155-158. **44.** Третьякова О. С. Кардиопротекторные возможности липосом в терапии гипоксически поврежденного миокарда новорожденных / О. С. Третьякова, И. В. Заднипрятский. – Перинатология и педиатрия.– 2011.– Т.46. № 2.– С.122 – 126. **45.** Фарук И. Применение Липофлавона в офтальмологической практике / И. Фарук. – Офтальмологический журнал.– 2007.– № 3. – С. 77-79. **46.** Фролов В. М. Ефективність нового українського препарату Ліоліву в лікуванні хворих на хронічні гепатити / В. М. Фролов, В. В. Харченко, А. С. Григор'єва // Проблеми екологічної та медичної генетики і клінічної імунології: зб. наук. пр. — К.; Луганськ; Х., 2001.– №1, Т. 33.– С. 254-264. **47.** Харченко В. В. Динаміка простагландинів (E2 та F2a) у крові хворих на неалкогольний стеатогепатит, сполучений з гіпертонічною хворобою, при застосуванні Ліпофлавона та цитраглініну / В. В. Харченко. – Укр. медичний альманах.– 2009.– Т.12. № 5. – С. 196-199. **48.** Храпай Е. В. Липофлавон підвищує регенерацію нервних волокон в умовах експериментальної моделі травми периферического нерва / Е. В. Храпай. – Актуальні проблеми сучасної медицини.– 2010.– Т. 10. № 1. – С. 116-119. **49.** Хромов О. С. Використання лецитинових ліпосом для попередження порушень серцевої діяльності при розвитку гнійної інфекції / О. С. Хромов, О. В. Стефанов, А. В. Жукова, Л. Б. Доломан // Ліки.– 1995.– № 5. - С. 35-38. **50.** Чайковский Ю. Б. Восстановительная фармакотерапия травмы периферического нерва в эксперименте / Е. В. Храпай. Клінічна анатомія та оперативна хірургія.– 2010.– Т. 9. № 4. – С. 6-11. **51.** Шахмаев А.Е. Липосомальные наночастицы как носители лекарственных препаратов / А. Е. Шахмаев, И. В. Волчик, Ю. М. Краснопольский, В. И. Швец // Фармаком.– 2011.– № 3.– С. 88-95. **52.** Шахмаев А. Е. Исследование влияния технологических параметров на свойства липосомальных наночастиц / А. Е. Шахмаев, Д. С. Бида, И. В. Волчик, Ю. М., В. И. Швец - Фармаком. 2012. № 1 / 2. - С.82-87. **53.** Шеремета Л. М. Вплив ліпосомального кверцетину на активність ПОЛ та систему антиоксидантного захисту при алкогольному гепатиті в експерименті / Л. М. Шеремета.– Галицький лікарський вісник. – 2007. – Т. 14, №2. – С. 80-82 **54.** Шеремета Л. М. Фармакотерапевтична ефективність ліпосомальних препаратів при патологічних станах оксидативного генезу. / Л. М. Шеремета - Автореф. дис. док. мед. наук: Київ, 2009. – 35 с. **55.** Шупер В. А. Эффективность применения препарата Лиолив в комплексной терапии хронических гепатитов различной этиологии / В. А. Шупер, С. В. Шупер, Н. Б. Рыкова, Ю. И. Вагина, Д. А. Некрасова, И. А. Лавринчук // Украинский медицинский альманах. – 2008. – Т. 11. №6. – С. 194-197. **56.** Щетинина Т. А Оценка эффективности применения Липофлавона для предупреждения развития кардиологических осложнений у больных операбельным раком молочной железы, получающих лечение антрациклинами /Т. А. Щетинина, А. В. Шепиль. – Украинский медицинский альманах.– 2008.– Т. 11. № 5. – С. 207-208. **57.** Ahmad B., Chen Y., Lapidus L.J. Aggregation on of α -synuclein is Kinetically controlled by intramolecular diffusion. Proc. Nat. Acad. Sci USA. 2012. 109 (7). P. 2336-2341. **58.** Ahmad B., Lapidus L. J. Curcumin prevents aggregation in α -synuclein by increasing reconfiguration rate. J. Biol. Chem. 2012. 287 (12). P. 9193-9199. **59.** Alexopolou E. Preparation and Characterization of lyophilized liposomes with incorporated Quercetin / E. Alexopolou, A. Georgopoulos, K. A. Kagkadis, C. J. Demetzos // J. of Liposome Research.– 2006.– V. 16. N. 1-2. – P. 17-25. **60.** Braithe Li. L., Kurzrock R. Liposome – encapsulated curcumin: in vitro and in vivo effects on proliferation, apoptosis, signaling and angiogenesis. // Cancer.– 2005.– 104 (6).– P. 1322-1331. **61.** Bisht S. Polymeric nanoparticle – encapsulated curcumin (nanocurcumin): a novel strategy for human cancer therapy / S. Bisht, G. Feldmann, S. Soni, R. Ravi, C. Karikar // Journal of Nanobiotechnology.– 2007.– V. 11. – P. 1551-1601. **62.** Goniotaki M. Encapsulation of naturally occurring flavonoides into liposomes: Physicochemical properties and biological activity against human cancer cell lines / M. Goniotaki, H. Hatziantoniou, K. Dimas, M. Wagner, C. Demetzos // J. Pharmacol.– 2004.– V. 56. N. 10. – P. 1217-1224. **63.** Grigoryeva G. S. Physical-chemical grounds of the membrane tropic factors in mechanism of the liposomal medicines action / G. S. Grigoryeva, A. V. Stefanov, N. F. Konakhoych, Yu. M. Krasnopolsky, N. V. Pasechnikova // International liposome society “Progress in drug and vaccine delivery” 2005. London. - P. 50-54. **64.** Grigoryeva G. S. Liposomal formulation for application on ophthalmology / G. S. Grigoryeva, A. V. Stefanov, N. F. Konakhoych, Yu. M. Krasnopolsky, N. V. Pasechnikova // International liposome society “Progress in drug and vaccine delivery” 2006. London. - P. 38-39. **65.** Grygorieva A. S. Real Nanopharmacology:

Liposomic medicines in clinic / G. S. Grigoryeva, N. F. Konakhoych, Yu. M. Krasnopolsky // International Liposome Society. Liposome Advances: Progress in drug and Vaccine Delivery. London. 2009. - P. 70-71. **66.** Ebrahim Sh. Application of liposomes in ophthalmology / Sh. Ebrahim, G. Peyman, P. J. Lee // Survey of ophthalmology.- 2005.- V. 50. N. 2. - P. 167-181. **67.** Fei X. Preparation of coenzyme Q 10 liposomes using supercritical anti-solvent technique / X. Fei, J. Heyang, Z. Yaping, G. Xinqia // J. of Microencapsulation.- 2012.- V. 29. N.1. - P. 21-29. **68.** Lee W. Ch. Preparation and characterization of liposomal coenzyme Q10 for in vivo topical application / W. Ch. Lee, T. H. Tsai // International journal of pharmaceutics.- 2010.- V. 395. -P. 78-83. **69.** Mesmer A. H. Use of Liposome solution for enhancing the activity and or reducing the to toxicity of drugs. / A. H. Mesmer, A. Scheller, J. P. Temirov, J. M. Krasnopolski, O. V. Stefanow // Eur. Patent. 1998. N. 011621. **70.** Ohta Y. Preventive Effect of Topical Vitamin E – Containing Liposome Instillation on the Progression of Galactose Cataract. Comparison between 5-Week – and 12-Week –Old Rats Fed a 25 % Galactose Diet. / Y. Ohta, T. Yamasaki, T. Niwwa, Y. Majima, I. Ishiguro // Experimental Eye Research.- 1999.- V. 68. N. 6. - P. 747-755. **71.** Patra D. Effect of curcumin in liposome: curcumin as a molecular probe for monitoring interaction of ionic liquids with 1,2 dipalmitoyl – sn-glycerol-3-phosphocholine liposome. / Patra D., Al-Khonry E., Ahmadich D., Darwish S., Tafech RM // Photochem. Photobiol.- 2012.- 88 (2). P. 317-327. **72.** Romero J. Pharmacologic modulation of acute ocular in-flammation with quercetin / J. Romero , G. E. Marak, N. A. Rao // Ophthalmol. Res.- 1989.- V. 21. N. 2. - P. 112-117. **73.** Shimatsu A. Clinical Application of “Curcumin”, a Multi-Functional Substance /A. Shimatsu, H. Kakeya, A. Imaizumi, T. Morimoto, M. Kanai, S. Malda // Anti-Aging Medicine.- 2012.- V. 9. N 1 - P. 43-51. **74.** Takahashi M. Properties of liposome-Encapsulated Curcumin / M. Takahashi, S. Uechi, K. Takara, Y. Asikin, K. Wada // Journal of Agricultural and Food Chemistry.- 2009.- V. 57. N 19. - P. 9141-9146. **75.** Verma D. D. Protective effect of coenzyme Q10-loaded liposomes on the myocardium in rabbits with an acute experimental myocardial infarction / D. D. Verma, W. C. Hartner, V. Thakkar, T. S. Levchenko, V. P. Torchilin // Pharmaceutical Research.- 2007.- V. 24, N 11. - P. 2131-2137. **76.** Xia Sh. Improved assay of coenzyme Q10 from liposomes by Tween 80 solubilisation and UV spectrophotometry / Sh. Xia, Xu Sh. // J. of the Science of Food and Agriculture.- 2006.- V. 86. N. 13. -P. 2119-2127. **77.** Zhang J. Topical use of Coenzyme Q10-loaded liposomes coated with trimethyl chitosan: Tolerance, precorneal retention and anti-cataract effect / J. Zhang, S. Wang // International journal of pharmaceutics.- 2009.- V. 372. N. 1-2 -P. 66-75.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 615.012.8

Получение липосомальных форм гидрофобных антиоксидантов/ А. Е. Шахмаев, Ю. М. Краснополяский// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 141-157. – Бібліогр.: 77 назв.

Представлені дані, що підтверджують ефективність гідрофобних антиоксидантів в ліпосомальній формі для лікування захворювань різної етіології. Показано, що наночастинки - ліпосоми – дуже перспективні носії для гідрофобних антиоксидантів. У роботі наведені дані, отримані авторами, при створенні ліпосомальних форм коензиму Q10 і вітаміну Е. Вивчена залежність розміру ліпосом від технології отримання та складу зразка.

Ключові слова: ліпосома, фосфоліпіди, гідрофобні антиоксиданти, перекисне окислення ліпідів, кверцетин, коензім Q10, вітамін Е (α-токоферол).

The data proving effectiveness of hydrophobic antioxidants in liposomal form for treating diseases of different etiologies was presented. It is shown that nanoparticles - liposomes are very perspective carriers for hydrophobic antioxidants. The article presents the data obtained by the authors in creating liposomal forms of koenzim Q10 and vitamin E. The dependence of liposome size on technology of obtaining and the composition of the sample was studied.

Keywords: liposome, phospholipids, hydrophobic antioxidants, lipid peroxidation, quercetin, koenzim Q10, vitamin E (α-tocopherol).

УДК 621.327

Е. В. ЯГУП, канд. техн. наук, доц., УкрГАЗТ, Харьков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВЫПРЯМИТЕЛЕ С ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫМ ФИЛЬТРОМ

Составлены дифференциальные уравнения переменных состояния, приведенные к нормальной форме, выпрямителя с индуктивно-емкостным фильтром. Разработанная математическая модель выпрямителя реализована в электронных таблицах Excel с использованием метода Эйлера. Результаты моделирования представлены временными диаграммами переменных состояния в переходном режиме.

Ключевые слова: выпрямитель, индуктивно-емкостной фильтр, метод Эйлера, переходный процесс.

Введение

Исследование переходных процессов в выпрямительных установках, является важной задачей при их проектировании [1–3]. Электрические схемы выпрямительных установок включают в себя реактивные и нелинейные элементы – емкости, конденсаторы и силовые полупроводниковые приборы, поэтому аналитические расчеты таких систем практически невозможны из-за высокого порядка таких систем и нелинейности элементов.

Для расчета таких систем необходимо использовать численные методы решения [4]. Метод Эйлера является приемлемым численным методом, который довольно прост в реализации с использованием современных компьютерных программ.

Целью работы

Целью работы является моделирование в электронных таблицах Excel электромагнитных процессов выпрямителя с индуктивно-емкостным фильтром в переходном режиме.

Методика экспериментов

На рис. 1. представлена электрическая схема выпрямителя с индуктивно-емкостным фильтром [5].

Рассматриваемая схема представляет собой однофазный выпрямитель, питающийся от источника ЭДС, амплитуда и частота которого соответственно равны $E_m = 10\text{ В}$, $f = 50$. Внутреннее

сопротивление равно $r = 5\text{ Ом}$, сопротивление нагрузки равно $R = 100\text{ Ом}$.

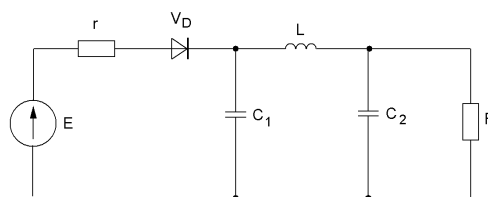


Рис. 1 – Электрическая схема выпрямителя с индуктивно-емкостным фильтром

Сопротивление диода в открытом и закрытом состояниях принимаются равными соответственно $R_{dopen} = 0.01\text{ Ом}$, $R_{dclose} = 10000\text{ Ом}$. Для сглаживания пульсаций к выходу выпрямителя подключен П-образный фильтр, состоящий из индуктивности и двух емкостей, значения которых равны $C_1 = C_2 = 0.12\text{ Ф}$, $L = 12\text{ Гн}$.

Для составления топологических уравнений воспользуемся методом переменных состояния. Переменными состояния в электрической системе примем напряжения на конденсаторах и токи в индукностях.

Составим граф и дерево рассматриваемой схемы. Ребра графа будут соответствовать электрическим элементам схемы, а узлы графа – зажимам между

которыми находятся соответствующие электрические элементы. Деревом графа называется связанная совокупность ребер, охватывающая все узлы и не образующая ни одного контура. Ребра, которые вошли в дерево, называются ветвями и изображаются сплошной линией, ребра, не вошедшие в дерево, называются связями и изображаются пунктирной линией.

Ни рис. 2. а) и б) представлены граф и дерево рассматриваемой электрической схемы.

Составим F-матрицу топологий, столбцы которой соответствуют ветвям, а строки – связям. Для этого замыкаем каждый из контуров единственной связью. Если направление связи совпадает с направлением ветви, записываем в соответствующую клетку матрицы +1, если направления противоположны, вносим -1, если ветвь не входит в рассматриваемый контур, записываем ноль.

Таким образом, получим топологическую матрицу "контур ветвь":

$$F = \begin{matrix} & \begin{matrix} E & C1 & C2 & Rd \end{matrix} \\ \begin{matrix} r \\ R \\ L \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & +1 & 0 & +1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & +1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Для составления топологических уравнений воспользуемся уравнениями напряжений связей и токов ветвей:

$$\begin{aligned} V^c &= F^{-1} V^e; \\ I^e &= F^T I^c. \end{aligned} \quad (1)$$

где V^c, I^c – напряжения и токи связей,

V^e, I^e – напряжения и токи ветвей,

F^T – транспонированная матрица "контур-ветвь".

В результате получим систему топологических уравнений:

$$\begin{aligned} V_r &= V_e - V_{c1} - V_{Rd}; & i_e &= -i_r; \\ V_R &= V_{c2}; & i_{c1} &= i_r - i_L; \\ V_L &= V_{c1} - V_{c2}; & i_{c2} &= i_L - i_R; \\ & & i_{Rd} &= i_r. \end{aligned} \quad (2)$$

Полученная система не является полной, ее необходимо дополнить системой компонентных уравнений, характеризующих поведение каждого электрического элемента, взятого отдельно от схемы.

$$\begin{aligned} V_{c1} &= C_1 \frac{di_{c1}}{dt}; & i_r &= r V_r; \\ & & i_R &= R V_R; \\ V_{c2} &= C_2 \frac{di_{c2}}{dt}; & & \\ V_{Rd} &= R_d i_{Rd} & i_L &= L \frac{dV_L}{dt}. \end{aligned} \quad (3)$$

Получив полную систему уравнений (2) – (3), приведем уравнения переменных состояний к форме задачи Коши, т. е. выразим производную от переменной состояния через задающие величины и сами переменные состояния. В результате выполненных преобразований получим систему из трех уравнений переменных состояний и одного уравнения, для нахождения тока диода.

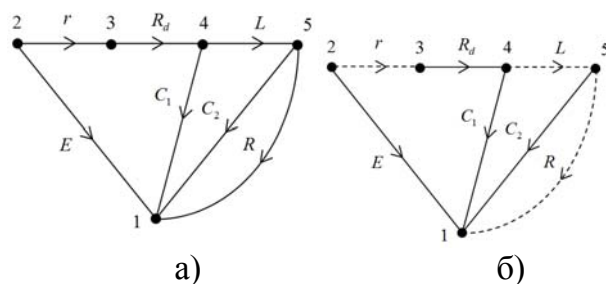


Рис. 2 – а) – граф электрической схемы; б) – дерево графа

$$\frac{di_{c1}}{dt} = \frac{1}{C_1}(i_{Rd} - i_L); \quad (4)$$

$$\frac{di_{c2}}{dt} = \frac{1}{C_2}(i_L - \frac{1}{R}V_{C2}); \quad (5)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(V_{C1} - V_{C2}); \quad (6)$$

$$i_{Rd} = \frac{e - V_{C1}}{R_d + r}. \quad (7)$$

Метод Эйлера позволяет вычислять текущие значения переменных через значения этих переменных и их производных в предыдущий момент времени по рекуррентной формуле:

$$x_t = x_{t-1} + \Delta t \frac{dx_{t-1}}{dt}, \quad (8)$$

где x_t – значение функции в текущий момент времени, x_{t-1} , $\frac{dx_{t-1}}{dt}$ – значение функции и производной в предыдущий момент времени, Δt – шаг интегрирования.

Задав значения параметров электрической схемы, начальные нулевые условия переменных состояния и воспользовавшись формулой Эйлера (5) можно построить временные диаграммы искомых токов и напряжений в электронных таблицах Excel [6].

Обсуждение результатов

Переходный пусковой процесс в выпрямителе с индуктивно-емкостным фильтром представлены на рис. 3.

Для наглядности ток i_L изображен в увеличенном в 10 раз масштабе. Напряжение на C_1 имеет участки нарастания в интервалах, где диод открыт, и спада – когда диод закрыт. Интервал проводимости диода изменяется от периода к периоду из-за изменения напряжения на C_1 , и поэтому эта схема представляет собой типичную схему преобразователя с изменяющимся моментом коммутации [3]. Расчет процессов в таких схемах из-за этого затруднен. Напряжение на C_2 существенно сглажено за счет элементов, включенных перед ним C_1 и L . Ток i_L имеет тенденцию изменять направление, что объясняется обменом энергией между конденсаторами в зависимости от того, какая энергия накоплена каждым конденсатором. В кривой тока i_L наблюдаются минимумы и максимумы в моменты, когда напряжения на конденсаторах равны, что соответствует уравнению (6). Параметры элементов взяты из [5], пронормированы по времени [4], но характер процесса сохраняется. В работе [5] эти параметры соответствуют сложному процессу установления, длящемуся сотни периодов питающего напряжения.

Выводы

1. Составлена математическая модель выпрямителя с индуктивно-емкостным фильтром, реализованная в электронных таблицах Excel.
2. Построены временные диаграммы переменных состояния в переходном режиме.

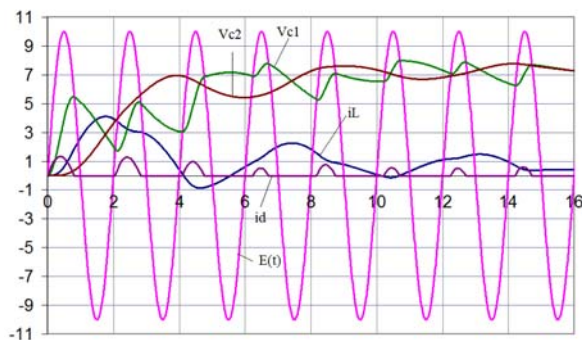


Рис. 3 – Временные диаграммы питающего напряжения, тока индуктивности, тока диода и напряжений на конденсаторах в переходном режиме

3. Полученный результат свидетельствует об эффективности использования индуктивно-емкостного фильтра в выпрямительных установках.

Список литературы: 1. Полупроводниковые выпрямители/ Беркович Е. И., Ковалев В. Н., Ковалев Ф. И. и др.; Под ред. Ф. И. Ковалева и Г. П. Мостиковой. – 2-е изд., переработ. М.: Энергия, 1978 – 448 с. 2. Векслер Г. С., Тетельбаум Я. И. Электропитание радиоустройств. – Киев: "Техніка", 1966. – 383 с. 3. Вентильные преобразователи переменной структуры / Тонкаль В.Е. Руденко В.С., Жуйков В.Я. и др.; Отв. ред. Шидловский А.К.- К.: Наукова думка, 1989.- 336 с. 4. Ягуп, В. Г. Автоматизированный расчет тиристорных схем [Текст] / В. Г. Ягуп. - К. : Вища школа, 1986. - 158 с. 5. Эйприлл Т., Трик Т. Анализ стационарного режима нелинейных цепей с периодическими входными сигналами // ТИИЭР.– 1972.– № 1.- С. 140 - 155. 6. Уокенбах Джон. Microsoft Office Excel 2007. Библия пользователя. -М.: "Вильямс", 2008. -816 с.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 621.327

Моделирование переходных процессов в выпрямителе с индуктивно-емкостным фильтром/ Е. В. Ягуп // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С.158-161. – Бібліогр.: 6 назв.

Складено диференціальні рівняння змінних стану, що приведені до нормальної форми, випрямляча з індуктивно-ємнісним фільтром. Розроблена математична модель випрямляча реалізована в електронних таблицях Excel із застосуванням методу Ейлера. Результати моделювання представлені часовими діаграми змінних стану в перехідному режимі.

Ключові слова: випрямляч, індуктивно-ємнісний фільтр, метод Ейлера, перехідний процес.

Worked out differential equations of state variables in normalized form of rectifier with inductive-capacity filter. The mathematical rectifier model is realized in spreadsheets application Excel with the use of Euler's method. Simulation results are presented as time diagrams of state variables in transient conditions.

Keywords: rectifier, inductive-capacity filter, Euler method, transient processing.

УДК 629.423.1

О. И. САБЛИН, канд. техн. наук, доц., Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ОБЩИХ УРАВНЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Рассмотрен процесс электропотребления электротранспорта с плавным регулирование мощности на основе общих уравнений электромагнитного поля, что позволило более точно выделить составляющие полной мощности тяговой нагрузки с учетом их физической природы. Использование приведенных выражений и физических объяснений явлений возникновения реактивной мощности и мощности искажения в электрических цепях электротранспорта при несинусоидальных режимах позволяют более точно рассчитать и компенсировать неактивные составляющие мощностей, а также понять и объяснить их существо и характер.

Ключевые слова: электротранспорт; плавное регулирование; искажения; электромагнитное поле; реактивная мощность; мощность искажения; компенсация.

Введение.

Разработка перспективного электротранспорта для различных видов электрической тяги связана в первую очередь с внедрением на нем систем плавного регулирования мощности. Применение указанных систем, однако, вызывает искажения питающего напряжения и несинусоидальные режимы в тяговой сети, т.е. ухудшает электромагнитную совместимость, к тому же сама по себе тяговая нагрузка

©О. И. САБЛИН, 2012

характеризуется длительной и кратковременной неравномерностью, носящей вероятностный характер. Все это осложняет расчет реактивной мощности в питающей сети и потерь от нее, а также затрудняет необходимый уровень ее компенсации.

При проектировании и создании более совершенных и быстродействующих компенсаторов реактивной мощности в цепях с искажающими вероятностными нагрузками, какой является тяговая нагрузка, необходим более детальный анализ электроэнергетических процессов. В данной работе предлагается рассмотреть процессы электропотребления в системе электрической тяги исходя из общих уравнений электромагнитного поля, и таким образом выделить составляющие полной мощности ЭПС и установить их физическую природу. Анализ основывается на представлении единицы ЭПС в виде пассивного двухполюсника с параметрами R , L , C входные электрические величины которого известны.

Реактивная мощность Q двухполюсника, которую используют для определения величины емкости статического компенсатора, обеспечивающего минимум активных потерь при передаче электроэнергии периодическими функциями напряжения $u = u(t)$ и тока $i = i(t)$ в классическом варианте определяют, например, в виде [1-5]

$$Q = U^{(1)} I^{(1)} \sin \varphi^{(1)}, \quad Q = \frac{\omega}{T} \int_0^T i \left(\int_0^t u \, d\tau \right) dt, \quad Q = \frac{1}{2\pi} \int_0^T i \frac{du}{dt} dt.$$

Приведенные выражения для нелинейных цепей в большинстве случаев дают различные результаты, что ограничивает их применение. В последнее время развито много новых теорий реактивной мощности, в том числе волновая [6]. Неоднозначность определения реактивной мощности, а также непериодический характер изменения напряжения $u(t)$ на токоприемнике и тягового тока $i(t)$ ЭПС заставляет искать ее определение исходя из общей теории электромагнитного поля, т.е. искать соотношение, аналогичное определению активной мощности в виде интегрального выражения

$$P = \int_V \operatorname{div} [\vec{E} \vec{H}] dV = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} ui \, dt, \quad (1)$$

где V – объем источника электроэнергии, содержащий электромагнитное поле; $\vec{E} = \vec{E}(t)$, $\vec{H} = \vec{H}(t)$ – соответственно векторы напряженностей в общем случае переменных электрического и магнитного полей; T_0 – длительность рассматриваемого участка непериодических процессов $u(t)$ и $i(t)$ (строго говоря, все процессы на практике непериодические и конечны во времени).

В идеальных электрических элементах с параметрами L , C , R представлен только один из видов энергии, и соответственно, один из ее носителей: магнитное, электрическое или тепловое поля. Физические процессы в реальных объектах характеризуются сочетанием различных видов энергии, обуславливаемых электромагнитными свойствами среды объекта. Реальные физические объекты электрической цепи ЭПС имеют конечные размеры и, следовательно, обладают индуктивностью, емкостью и инерционностью по отношению к электромагнитным воздействиям. Поэтому практически всегда электромагнитные процессы можно считать непрерывными, производные по времени их физических величин – ограниченными.

Для физического объяснения существования различных составляющих полной мощности ЭПС при несинусоидальных режимах рассмотрим осредненное по объему V источника электроэнергии переменное электромагнитное поле в непрерывной среде с объемной плотностью энергии

$$w_{\text{эм}} = w_{\text{э}} + w_{\text{м}} = \frac{1}{2}(\overline{D}\overline{E} + \overline{B}\overline{H}), \quad (2)$$

где $\overline{D} = \overline{D}(t)$, $\overline{B} = \overline{B}(t)$ – соответственно векторы электрического смещения и индукции магнитного поля. Указанные величины связаны параметрами среды:

$$\overline{D} = \varepsilon_a \overline{E}, \quad \overline{B} = \mu_a \overline{H}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_a = \varepsilon_a(\overline{E})$, $\mu_a = \mu_a(\overline{H})$ – абсолютные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды рассматриваемого двухполюсника, в общем случае нелинейной, поэтому зависят от напряженностей поля.

Входными величинами двухполюсника являются его напряжение $u = u(t)$ и ток $i = i(t)$, а они непосредственно связаны с окружающим его электромагнитным полем. Мгновенные значения напряжения двухполюсника определяются линейным интегралом от напряженности потенциального электрического поля, равного градиенту электрического потенциала:

$$u(t) = -\int_l \overline{E}(t) dl = -\int_l \text{grad } \phi(t) dl, \quad (4)$$

а мгновенное значение полного тока, протекающего через любую поверхность S , не пересекающую области контакта с соединительными проводами равно поверхностному интегралу от суммы тока проводимости и смещения (без учета тока переноса) и подчиняется закону полного тока:

$$i(t) = \int_S \left(\overline{J} + \varepsilon_a \frac{\partial \overline{E}}{\partial t} \right) dS = \oint_{l_S} \overline{H} dl_S, \quad (5)$$

где l_S – замкнутый контур, являющийся пересечением площади S с поверхностью объема среды заполненной током $i(t)$.

Учитывая, что ток и напряжение во внешней по отношению к объему V цепи двухполюсника на основании закона сохранения заряда и закона электромагнитной индукции определяются выражениями:

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \approx \overline{H}(t) l_H, \quad u(t) = \frac{d\psi}{dt} \approx \overline{E}(t) l_E, \quad (6)$$

где $\psi = \psi(t) = \overline{B} S_B = \int_0^t u dt$ – магнитное потокоцепление через осредненное сечение S_B ;

$q = q(t) = \overline{D} S_D = \int_0^t i dt$ – заряд, смещающийся через осредненное сечение S_D ; l_H , l_E –

осредненные длины силовых линий потоков векторов $\overline{H}$ и $\overline{E}$, то величины, входящие в (2) можно выразить через интегральные электрические характеристики двухполюсника

$$\overline{E}(t) = \frac{u(t)}{l_E}, \quad \overline{D}(t) = \frac{1}{S_D} \int_0^t i(t) dt, \quad \overline{H}(t) = \frac{i(t)}{l_H}, \quad \overline{B}(t) = \frac{1}{S_B} \int_0^t u(t) dt. \quad (7)$$

С учетом (6), (7) объемную плотность энергии электромагнитного поля рассматриваемого двухполюсника можно получить в виде зависимости

$$w_{\text{эм}} = w_{\text{эм}}(u, i, l_E, S_D, l_H, S_B, t) = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\overline{D}}{\overline{E}} \right) \overline{E}^2 + \left(\frac{\overline{B}}{\overline{H}} \right) \overline{H}^2 \right] = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{q}{u} \frac{l_E}{S_D} \right) \left(\frac{u}{l_E} \right)^2 + \left(\frac{\psi}{i} \frac{l_H}{S_B} \right) \left(\frac{i}{l_H} \right)^2 \right], \quad (8)$$

где $\frac{q}{u} \frac{l_E}{S_D} = \varepsilon_a(t)$, $\frac{\psi}{i} \frac{l_H}{S_B} = \mu_a(t)$.

Напряженность электрического и магнитного полей в выражениях (7), как сложные функции, удовлетворяющие условиям Дирихле на рассматриваемом промежутке времени $[0, T_0]$, могут быть разложены в ряд Фурье:

$$\vec{E} = \sum_{k=0}^{\infty} \vec{E}_k, \quad \vec{H} = \sum_{m=0}^{\infty} \vec{H}_m, \quad (9)$$

где $\vec{E}_k, \vec{H}_m$ – « k »-тая и « m »-тая комплексные гармонические составляющие векторов напряженности электрического и магнитного полей:

$$\vec{E}_k = \vec{E}_k(t) = \vec{E}_k e^{-j\left(\frac{2\pi kt}{T_0} + \alpha_k\right)}, \quad \vec{H}_m = \vec{H}_m(t) = \vec{H}_m e^{-j\left(\frac{2\pi mt}{T_0} + \beta_m\right)}. \quad (10)$$

Тогда на основании теоремы Пойнтинга мгновенный поток энергии электромагнитного поля сквозь замкнутую поверхность S :

$$\vec{P} = \oint_S \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} n^0 \left[\vec{E}_k \times \vec{H}_m \right] dS, \quad (11)$$

где n^0 – единичный вектор нормали к поверхности S ; $\vec{H}_m^{//}(t)$ – комплексно-сопряженный вектор. Раскрыв суммы последнего выражения получим

$$\vec{P} = \oint_S \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} n^0 \left[\vec{E}_k \times \vec{H}_m^{//} \right] + \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} n^0 \left(\left[\vec{E}_k \times \vec{H}_m \right] - \left[\vec{E}_m \times \vec{H}_k \right] \right) \right\} dS. \quad (12)$$

Первая сумма в (12) от взаимодействия одноименных гармоник составляющих напряженностей электрического и магнитного полей называют комплексным вектором $\vec{P}$ Пойнтинга. Вещественная часть (12) ($\text{Re } \vec{P}$) определяет количество энергии в единицу времени, протекающую через единичную площадку, перпендикулярную направлениям векторов $\vec{E}$ и $\vec{H}$, необратимо преобразуемую в другие виды и характеризует активную мощность цепи.

Среднее по времени количество невозвращаемой энергии сквозь замкнутую поверхность $S \approx l_H l_E$ (другими словами, активную мощность двухполюсника) можно выразить в известном виде:

$$P = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} S \text{Re } \vec{P} dt = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} u(t) i(t) dt. \quad (13)$$

Мнимая часть « k »-той составляющей потока вектора $\vec{P}$ по определению создает реактивную мощность, равную разности средних величин магнитной и электрической составляющих энергий, пропорциональных их угловой частоте. То есть выражения (2) и (7) будут справедливы для « k »-тых и « m »-тых гармонических составляющих соответственно векторов $\vec{E}, \vec{D}$ и $\vec{H}, \vec{B}$.

Выразим « k »-тые гармоники объемных плотностей энергий электрического и магнитного полей в (2) с учетом соотношений (7) как

$$w_3^{(k)}(t) = \frac{u^{(k)}(t)}{2l_E^{(k)} s_D^{(k)}} \int_0^t i^{(k)}(t) dt, \quad w_M^{(k)}(t) = \frac{i^{(k)}(t)}{2l_H^{(k)} s_B^{(k)}} \int_0^t u^{(k)}(t) dt, \quad (14)$$

где все входящие в (14) величины справедливы для « k »-той гармоники электромагнитного поля.

Среднее значение разности объемной плотности энергий магнитного и электрического полей « k »-той составляющей определится как

$$\Delta w_{cp}^{(k)}(t) = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} (w_M^{(k)}(t) - w_3^{(k)}(t)) dt, \quad (15)$$

Реактивная составляющая « k »-той гармоники электромагнитного поля в объеме $V^{(k)} \approx l_E^{(k)} s_D^{(k)} = l_H^{(k)} s_B^{(k)}$ двухполосника определяется как

$$Q_V^{(k)} = k\omega V^{(k)} \Delta w_{cp}^{(k)} = \frac{k\omega}{2T_0} \int_0^{T_0} i^{(k)}(t) \left(\int_0^t u^{(k)}(\tau) d\tau \right) dt - \frac{k\omega}{2T_0} \int_0^{T_0} u^{(k)}(t) \left(\int_0^t i^{(k)}(\tau) d\tau \right) dt. \quad (16)$$

Учитывая, что функции $u^{(k)}(t)$ и $i^{(k)}(t)$ – гармонические, то для них справедливо равенство

$$\int_0^{T_0} i^{(k)}(t) \left(\int_0^t u^{(k)}(\tau) d\tau \right) dt = - \int_0^{T_0} u^{(k)}(t) \left(\int_0^t i^{(k)}(\tau) d\tau \right) dt, \quad (17)$$

тогда выражение (16) принимает вид

$$Q_V^{(k)} = \frac{k\omega}{T_0} \int_0^{T_0} i^{(k)}(t) \left(\int_0^t u^{(k)}(\tau) d\tau \right) dt. \quad (18)$$

Из (18) следует, что в общем случае реактивные мощности гармонических составляющих могут иметь различный знак, т.е. если в какой-то момент времени реактивный поток энергии одной гармонической составляющей имеет положительное направление – энергия вытекает из объема V , то поток реактивной энергии другой гармонической составляющей возвращается в объем из окружающего пространства (извне). Отметим, что загрузка источника реактивными составляющими мощности не обязательна должно сопровождаться циркуляцией «обменной» энергии между нагрузкой и источником. Для их возникновения достаточно пульсирующего одностороннего потока энергии, поскольку пульсирующий поток может всегда интерпретироваться как результат сложения двух или более потоков, один из которых односторонний, а другие двусторонние. Отличие изложенного подхода от традиционного заключается в том, что для определения реактивной мощности Q должны использоваться мгновенные значения величин $u = u(t)$ и $i = i(t)$, которые несут полную информацию об энергетическом процессе в электрической цепи.

Из результата интегрирования (12) нельзя однозначно определить распределение вектора $\vec{\Pi}$ по поверхности S объема V , поскольку к вектору $\vec{\Pi}$ добавляется ротор вектора $\vec{A}$, обусловленного взаимодействием электрического и магнитного полей различных частот (вторая сумма в (12)) который не изменяет поверхностного интеграла. Действительно

$$\oint_S (\vec{\Pi} + \text{rot } \vec{A}) dS = \oint_S \vec{\Pi} dS + \int_V \text{div rot } \vec{A} dV = \oint_S \vec{\Pi} dS, \quad (19)$$

где $\text{div rot } \vec{A} \equiv 0$.

Учитывая вышесказанное, вторую сумму в (12) представляющую собой энергию от взаимного влияния гармонических составляющих электромагнитного поля разного порядка ($k \neq m$), называемой в преобразовательной технике мощностью искажения, можно характеризовать только среднеквадратическими значениями, поскольку ее среднее значение за рассматриваемый период времени равно нулю. Принимая во внимание (7), выражение для мощности искажения может быть получено в виде

$$D = \sqrt{\frac{1}{2T_0} \int_0^{T_0} \sum_{\substack{k=0 \\ m=0 \\ k \neq m}}^{\infty} [u^{(k)}(t)i^{(m)}(t) - u^{(m)}(t)i^{(k)}(t)]^2 dt}. \quad (20)$$

Вывод

Таким образом, мощность источника сторонних электрических сил, или полная мощность источника, идет на создание в электрической цепи двухполюсника активной мощности, реактивной мощности и мощности искажения.

Использование приведенных выражений и физических объяснений явлений возникновения реактивной мощности и мощности искажения в электрических цепях электротранспорта при несинусоидальных режимах позволяют более точно рассчитывать и компенсировать неактивные составляющие мощностей, а также понять и объяснить их существо и характер.

Список литературы: 1. *Маевский О. А.* Энергетические показатели вентильных преобразователей / *О. А. Маевский.* – М.: Энергия, 1978. – 320 с. 2. *Тонкаль В. Е.* Баланс энергий в электрических цепях / *В. Е. Тонкаль, В. А. Новосельцев, С. П. Денисюк.* – К.: Наук. думка, 1992. – 312 с. 3. *Жежеленко И. В.* Современная концепция реактивной мощности / *И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко* // Вестник Приазовского гос. техн. ун-та. – Мариуполь, 1995. – Вып. 1. – С. 192–197. 4. *Крогерис А. Ф.* Оценка энергетических процессов по мгновенной мощности / *А. Ф. Крогерис, К. К. Раешевиц, Э. П. Трейманис* [и др.] // Электричество. – 1987. – №7. – С. 31–35. 5. *Демирчян К. С.* Реактивная или обменная мощность / *К. С. Демирчян* // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1984. – №2. – С. 66–72. 6. *Казаков О. А.* Реактивная мощность как характеристика преобразования составляющих энергии электромагнитного поля / *О. А. Казаков* // Инженерная физика. – 1999. – № 1. С. 50–59.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 629.423.1

Определение составляющих полной мощности электроподвижного состава на основе общих уравнений электромагнитного поля/О. И. Саблин // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 161–166. – Бібліогр.: 6 назв.

Розглянуто процес електроспоживання електротранспорту з плавним регулюванням потужності на основі загальних рівнянь електромагнітного поля, що дозволило більш точно виділити складові повної потужності тягового навантаження з урахуванням їх фізичної природи. Використання наведених вира-відкладів та фізичних пояснень явищ виникнення реактивної потужності і потужності спотворення в електричних колах електротранспорту при несинусоїдальних режимах дозволяють більш точно розрахувати і компенсувати неактивні складові потужностей, а також зрозуміти і пояснити їх сутність і характер.

Ключові слова: електротранспорт; плавне регулювання; спотворення; електромагнітне поле; реактивна потужність; потужність спотворення; компенсація.

Consider a process of the electricity consumption of electric transport with a smooth capacity regulation on the basis of the General equations of the electromagnetic field that allowed to more precisely identifying the components of the full power of traction load taking into account their physical nature. Use of the given expressions and physical explanation of the phenomena of reactive power and power distortion in electric circuits of electric transport in no sinusoidal modes allow you to more accurately calculate and compensate for the inactive ingredients of capacities, but also to understand and explain their essence and character.

Keywords: electric transport; smooth regulation; distortion; electromagnetic field; reactive power; the power of distortion compensation.

УДК 535.3

Я. С. КРИВОРУЧКО, ст. викладач, Національний університет біоресурсів і природокористування, Київ;

Л. Б. ЛЕРМАН, канд. техн. наук, с.н.с., Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України, Київ ;

Н. Г. ШКОДА, канд. фіз.-мат. наук, науковий співробітник, Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України, Київ

БАГАТОКОМПОНЕНТНІ ГЕТЕРОГЕННІ СИСТЕМИ: ЕФЕКТИВНА ДІЕЛЕКТРИЧНА ПРОНИКНІСТЬ ТА ПОГЛИНАННЯ

Розглянуті математичні моделі, які описують ефективну діелектричну проникність багатокомпонентних гетерогенних середовищ. Для розрахунку використовуються узагальнені формули Максвелл-Гарнетта та Ліхтенекера. В першому випадку – чисельні розрахунки виконані для суміші діелектриків з малими втратами в діапазоні НВЧ частот, в другому випадку розглянуто водяні суспензії суміші наночастинок золота, срібла, частинок, що складаються з суміші золота і срібла. Розраховано частотну залежність діелектричної проникності суспензії в оптичному діапазоні. Встановлено, що для таких систем має місце багато екстремальна залежність уявної частини діелектричної проникності.

Ключові слова: ефективна діелектрична проникність; гетерогенне середовище, наночастинок, формули Максвелл-Гарнетта.

Вступ

Діелектрична функція (ДФ) гетерогенних систем (ГС) та матрично-дисперсних систем (МДС) вводиться тоді, коли можна розглядати ефективне макроскопічне електричне поле, усереднене за об'ємами, більшими за характерні масштаби неоднорідності й [1–5]. Відносно такого поля ГС може вважатися однорідною, а часто також й ізотропною. Відразу зауважимо, що коректність подібного підходу обмежується великими відносно розмірів включень довжинами хвиль електромагнітного випромінювання (ЕМВ), в так званому електростатичному наближенні.

Для опису діелектричної проникності (ДП) сумішей запропоновано багато моделей, які всі виходять із того, що значення діелектричних проникностей і об'ємних фракцій включень відомі. Наявність поглинаючих складових в ГС приводить до того, що ефективна діелектрична проникність $\tilde{\epsilon}$ системи в цілому – це комплексна функція дійсного аргументу, яка залежить від частоти прикладеного поля ω , тобто $\tilde{\epsilon} = \tilde{\epsilon}(\omega)$. Про адекватність теорії судять по здатності пояснювати і передбачати експериментальні дані. Центральне положення серед подібних теорій для ГС з матричною топологією та МДС займають теорії Максвелл-Гарнетта [1-3], Д. Бруггемана [4], К. Ліхтенекера [5]. Порівняльний аналіз різних моделей між собою та з експериментальними даними на прикладі зволжених пористих середовищ виконано в [6]. Теорії Максвелл-Гарнетта і Д. Бруггемана допускають узагальнення на системи, що містять більше, ніж дві фракції [1–3, 7]. Трикомпоненту суміш докладно розглянуто в роботі [7]. Потрібно зауважити, що різні формули для розрахунку ДФ можливо застосовувати лише за певних умов, які покладені в основу одержання кожної з формул. Наприклад, формули Максвелл-Гарнетта можна застосовувати при малих концентрація включень, коли їх взаємодією між собою можна знехтувати, а формули К. Ліхтенекера дають правильний результат для дрібнодисперсних сумішей при близьких концентраціях компонентів, що входять до

ДС [8, 9], але для більшості реальних систем зазначені умови не завжди виконуються [2].

Ця робота продовжує дослідження, результати яких викладені у роботах [3, 6, 11–15]. Так, оптична густина водних суспензій суцільних кульових наночастинок срібла із врахуванням їх розподілу за розмірами була знайдена у [3], і при цьому досягнуто добре узгодження з експериментом. Для двокомпонентної суміші води і двох типів ґрунтів (піску та суглинка) деякі результати наведено в [6]. В роботах [11, 12] розраховано ефективну ДП для МДС з напівпровідниковими кульовими включеннями та кульовими включеннями з напівпровідниковою оболонкою, а в [13–15] були розглянуті МДС з біметалевими кульовими частинками із срібним ядром та золотою оболонкою, або навпаки. Встановлено, що для суцільних частинок спостерігається один максимум у спектральних залежностях уявної частини ДП і поглинання.

В цій роботі розглядаються багатокомпонентні ДС на основі діелектричних включень з малими втратами в діапазоні надвисоких частот (НВЧ) та водяні суспензії наночастинок благородних металів в оптичному діапазоні. Наводиться графічно-табличний матеріал, який ілюструє виконані розрахунки та обговорюються отримані результати.

Основні розрахункові співвідношення

Узагальнене рівняння Максвелл-Гарнетта для суміші декількох компонентів має вигляд [1, 2]:

$$\frac{\tilde{\varepsilon} - \varepsilon_m}{\tilde{\varepsilon} + 2\varepsilon_m} = \sum_{i=1}^n f_i \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_m}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_m}. \quad (1)$$

де ε_m – діелектрична проникність оточуючого середовища (матриці), ε_i – діелектрична проникність включень, f_i – об’ємна частка i -ї фракції.

Для проведення практичних розрахунків це рівняння зручно розв’язати відносно $\tilde{\varepsilon}$:

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon_m \frac{1 + 2 \sum_{i=1}^n f_i \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_m}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_m}}{1 - \sum_{i=1}^n f_i \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_m}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_m}}. \quad (2)$$

Введемо в формули (1) та (2) поляризованості α_i у явному вигляді. Для суцільної кулі [1, 2]

$$\alpha_i = 4\pi r_i^3 \varepsilon_m \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_m}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_m}, \quad (3)$$

де r_i – радіус частинки. Тоді із врахуванням (3) замість (2) отримуємо формулу

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon_m \frac{1 + 2 \sum_{i=1}^n \frac{f_i \alpha_i}{4\pi r_i^3 \varepsilon_m}}{1 - \sum_{i=1}^n \frac{f_i \alpha_i}{4\pi r_i^3 \varepsilon_m}}. \quad (4)$$

У такому вигляді формулу (4) можна використовувати і для неоднорідних частинок, якщо відома їх поляризованість. Зокрема, вираз для поляризованості кулі в оболонці має вигляд [1]

$$\alpha_i = 4\pi r_{2i}^3 \frac{(\varepsilon_{2i} - \varepsilon_m)(\varepsilon_{1i} + 2\varepsilon_m) + (\varepsilon_{1i} - \varepsilon_{2i})(\varepsilon_m + 2\varepsilon_{2i})v_i}{(\varepsilon_{2i} + 2\varepsilon_m)(\varepsilon_{1i} + 2\varepsilon_{2i}) + 2(\varepsilon_{2i} - \varepsilon_m)(\varepsilon_{1i} - \varepsilon_{2i})v_i}, \quad (5)$$

де $v_i = r_{1i}^3 / r_{2i}^3$ – об’ємна доля ядра у i -ї частинки, а r_{1i} , r_{2i} – її внутрішній і зовнішній радіуси відповідно.

Для опису ГС із статистичною топологією характерним є застосування симетричних теорій ефективного середовища [2]. Якщо вважати, що кожна частинка ГС знаходиться в

оточуючому середовищі з ефективною діелектричною проникністю $\tilde{\epsilon}$, то розрахунок ефективної діелектричної проникності багатофазної системи можна проводити за формулою

$$\sum_{i=1}^n f_i \frac{\epsilon_i - \tilde{\epsilon}}{\epsilon_i + 2\tilde{\epsilon}} = 0. \quad (6)$$

Формула (6) – це узагальнена формула Бруггемана [2]. Для неї обмежень на об'ємну частку включень не виникає. Але на відміну від формули Максвелл-Гарнетта визначення $\tilde{\epsilon}$ у явному вигляді приводить до полінома n -го ступеня в загальному випадку з комплексними коефіцієнтами, розв'язок якого для $n > 2$ можливо отримати тільки чисельно.

Поглинання κ в МДС визначається уявною частиною ефективної ДП

$$\kappa = \frac{\omega}{c} \operatorname{Im} \sqrt{\tilde{\epsilon}} = \frac{2\pi}{\lambda} \operatorname{Im} \sqrt{\tilde{\epsilon}}, \quad (7)$$

де ω – частота, c – швидкість світла, λ – довжина хвилі. Зауважимо, що МДС вважаються нескінченими, тому формула (7) визначає поглинання на одиницю довжини. З наведених вище співвідношень випливає, що для багатокомпонентної суміші функція $\operatorname{Im} \tilde{\epsilon}$ і, відповідно, поглинання κ буде мати декілька екстремумів. Якщо врахувати функції розподілу частинок окремих фракцій за розмірами, то відповідні спектри поглинання будуть «розмиватися».

Ефективна діелектрична проникність МДС, у яких матеріал включень є діелектриком з малими втратами

Розглянемо багатокомпонентні ДС у випадку, коли матеріали включень є діелектриками з малими втратами, якими при розрахунках можна знехтувати, і визначимо ефективну ДП у діапазоні НВЧ. У цьому діапазоні ДП включень в матриці майже не залежить від частоти, і, наприклад у сантиметровому діапазоні при довжинах хвиль від 2 до 10 см їх можна вважати сталими.

В роботі досліджувалось пористе середовище, яке складалось з ґрунту і включень води та повітря. Розглядалися два види ґрунтів: піщаний та суглинистий. При розрахунках прийнято для піщаного ґрунту діелектрична проникність $\epsilon_m = 4$, суглинистого – $\epsilon_m = 6$, води – $\epsilon_1 = 80$, повітря – $\epsilon_2 = 1$, а діелектричні втрати не враховувались. Для об'ємної частки повітря f_2 були прийняті значення 0,05; 0,1; 0,15.

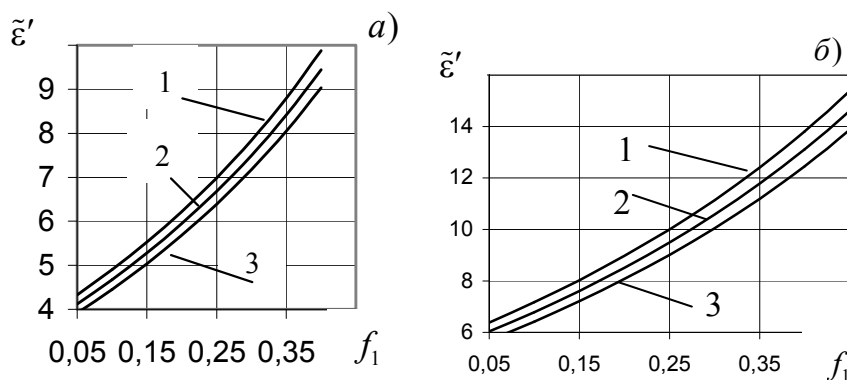


Рис.1 – Залежність ефективної діелектричної проникності $\tilde{\epsilon}'$ від об'ємної частки води f_1 для трикомпонентної суміші при різному вмісту повітря f_2 : 1 – 0,05; 2 – 0,1; 3 – 0,15; (а) $\epsilon_m = 4$, (б) $\epsilon_m = 6$

Для визначення ефективної ДП проникності використовувалась формула Максвелл-Гарнетта у вигляді (2). Деякі результати розрахунків наведено на рис.1 а для піщаного і на рис.1 б для суглинистого ґрунту. З наведених графіків видно, що залежність ефективної ДП від вмісту води має подібний характер для різних значень ϵ_m , і згідно з рівнянням (2) для суглинистого ґрунту значення ефективної ДП більше, ніж для

піщаного ґрунту. Разом з тим збільшення об'ємної частки води до $f_1 = 0,4$ для суглинистого ґрунту більше ніж на 40% по відношенню до піщаного ґрунту, в той час як відношення ДП різних типів ґрунтів складає $6/4 = 1,5$, тобто пропорційність ефективної ДП ε_m порушується. Як і очікувалось, при збільшенні об'ємної частки повітря зменшується значення ε' пористого середовища. Так, при $f_1 = 0,4$ ефективна ДП зменшується на 11% при збільшенні об'ємної частки повітря з 0,05 до 0,15. Розрахунки показали, що аналогічні результати мають місце і для інших типів діелектричних матеріалів.

Ефективна діелектрична проникність водяних суспензій благородних металів

Розглядаються системи, які складаються з включень різного сорту. Вважається, що кульові наночастинки можуть бути золотими, срібними, або змішаними, коли атоми золота і срібла розподілені випадковим чином. До інших типів включень відносяться кульові частинки з оболонкою.

Слід відмітити, що благородні метали (золото, срібло, платина і ще мідь) мають унікальні оптичні властивості [1, 16], і тому їх використовують в багатьох сучасних нанотехнологіях. Оскільки частоти поверхневих плазмонів золота і срібла істотно відрізняються, то комбінуючи об'ємний вміст металів, можна впливати на максимуми коефіцієнтів відбиття та поглинання таких систем. Зауважимо, що при цьому можна очікувати появи додаткових екстремумів у спектрах поглинання, але їх кількість і абсолютні значення можна визначити тільки чисельно.

Для опису частотно-залежних діелектричних функцій металів в модельних розрахунках прийнята модель Друде [1]

$$\varepsilon = \varepsilon_\infty - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\gamma_p)}, \quad (8)$$

де ε_∞ - діелектрична проникність при $\omega \rightarrow \infty$, ω_p - плазмонна частота та γ_p - частота поглинання масивного металу. Ця модель добре описує ДП алюмінію, але для золота і срібла узгодження погіршується [1].

Із загальної теорії електродинаміки випливає, що для будь-яких матеріалів повинно бути $\varepsilon_\infty = 1$. Для золота і срібла це не так, і заради більш-менш доброго узгодження з експериментальними даними значення цього параметра змінюється. В розрахунках згідно з [1, 15] у формулі (8) прийнято: для срібла $\varepsilon_\infty = 4,5$, $\omega_p = 1,46 \times 10^{16} \text{ с}^{-1}$, $\gamma_p = 0,24 \times 10^{14} \text{ с}^{-1}$, для золота - $\varepsilon_\infty = 10,0$, $\omega_p = 1,37 \times 10^{16} \text{ с}^{-1}$, $\gamma_p = 0,34 \times 10^{14} \text{ с}^{-1}$. Для отримання більш точних результатів доцільно використовувати експериментальні залежності ДП золота і срібла, отримані для масивних зразків матеріалів [15], а для малих частинок $r < 20 \text{ нм}$ врахувати розмірну поправку, як це, наприклад, зроблено в [3].

Для визначення діелектричної проникності змішаної частинки зручно використовувати симетричну формулу К. Ліхтенекера [5], яка має вигляд

$$\tilde{\varepsilon}^k = f_1 \varepsilon_1^k + f_2 \varepsilon_2^k, \quad (9)$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - діелектричні проникності золота і срібла відповідно, f_1, f_2 - об'ємні долі металів у частинці, а показник k знаходиться в інтервалі $-1 \leq k \leq 1$ [2].

Наведемо деякі результати виконаних розрахунків, які представлені на рис. 2–11. Було розглянуто водні суспензії чисто золотих, чисто срібних і змішаних наночастинок (однокомпонентні суміші); суспензії, до складу яких входили і золоті, і срібні наночастинки (двокомпонентні суміші); а також трикомпонентна суміш з золотих, срібних і змішаних наночастинок. Об'ємні долі вважалися однаковими і рівними 0,05. При розрахунках визначались залежності ефективної ДП від довжини хвилі світла і спектри поглинання. Додатково у формулі (9) для простоти прийнято, що $k = 1$, а

$f_1 = f_2 = 0,5$. Для води у оптичному діапазоні прийнято $\epsilon_m = 1,77$, без врахування втрат.

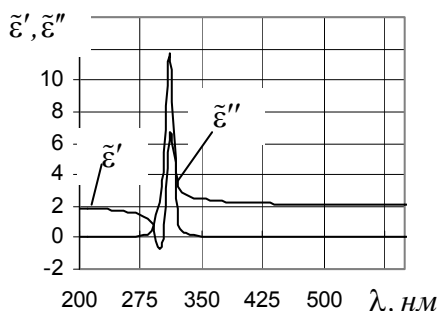


Рис.2 – Діелектрична функція суспензії золотих наночастинок

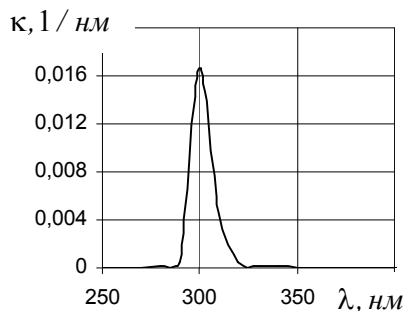


Рис.3 – Поглинання суспензії золотих наночастинок

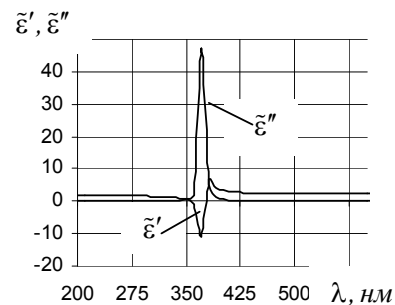


Рис.4 – Діелектрична функція суспензії срібних наночастинок

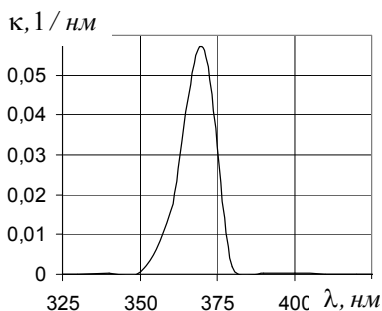


Рис.5 – Поглинання суспензії срібних наночастинок

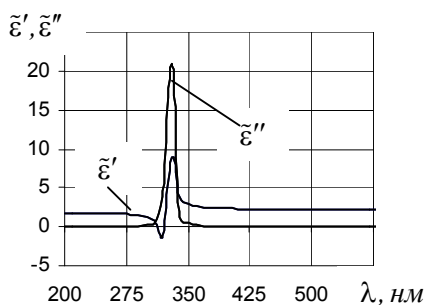


Рис.6 – Діелектрична функція суспензії наночастинок із суміші золота і срібла

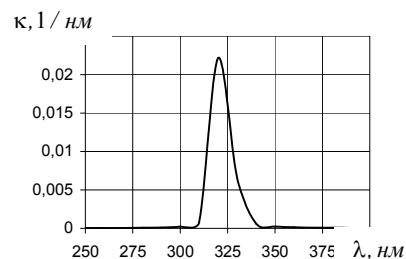


Рис.7 – Поглинання суспензії наночастинок із суміші золота і срібла

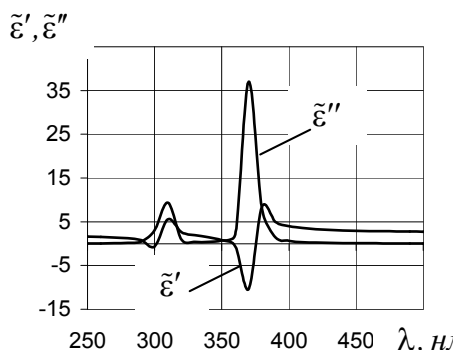


Рис.8 – Діелектрична функція суспензії двокомпонентної суміші наночастинок золота і срібла

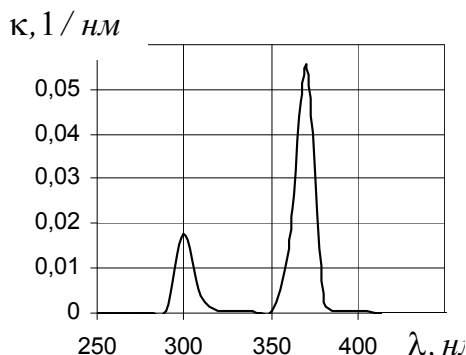


Рис.9 – Поглинання в суспензії суспензії двокомпонентної суміші наночастинок золота і срібла

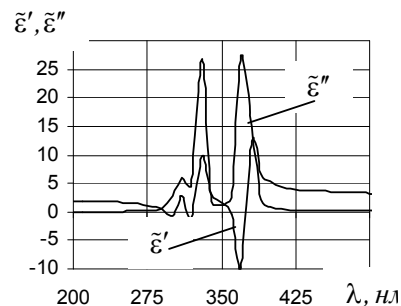


Рис.10 – Діелектрична функція суспензії трикомпонентної суміші наночастинок золота, срібла і мішаних частинок

З наведених результатів можна зробити деякі узагальнення. Згідно з формулою (7) максимуми поглинання відповідають максимумам уявної частини ефективної ДП суспензій і досягаються при однакових довжинах хвилі. Цей досить тривіальний результат тільки підтверджує правильність виконаних розрахунків. Основний отриманий результат полягає в тому, що кількість екстремумів відповідає кількості фракцій: для включень одного типу спостерігається один максимум, для включень двох типів – два максимуми, а для трьох типів – три.

Для однотипних включень довжина хвилі, яка відповідає максимуму уявної частини $\tilde{\epsilon}$ і, відповідно, максимуму поглинання, залежить від характеристик матеріалу включень. Для мішаної частинки (золото+срібло) ця довжина хвилі λ_{mix} знаходиться в інтервалі між довжинами хвиль складових. Для обраних значень параметрів має місце нерівність $300 \leq \lambda_{\text{mix}} \leq 370$ (довжини хвиль у нм), і, зокрема для $k=1$, $f_1=f_2=0,5$ визначено, що $\lambda_{\text{mix}} = 320$ нм.

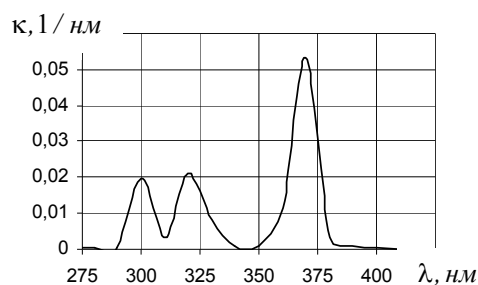


Рис.11 – Поглинання суспензії трикомпонентної суміші наночастинок золота, срібла і мішаних частинок

Звертає на себе увагу той факт, що для двокомпонентної суміші мінімуми поглинання близькі до нуля, то для трикомпонентної суміші перший мінімум при $\lambda \approx 310$ нм суттєво відрізняється від нуля. Спектральна залежність дійсної і уявної частин ефективної ДП має досить складний характер, зокрема існують інтервали, у яких ϵ' приймає від'ємні значення.

Висновки

Практично реалізована можливість знаходження ефективної діелектричної проникності гетерогенних систем, які містять більше ніж дві фракції (матриця, вода і повітря). Встановлено вплив наявності води в порах на ефективну діелектричну проникність. Зокрема, отримано чисельні результати залежності ефективної діелектричної проникності для піщаного та суглинистого ґрунтів від об'ємної частки води в порах. Для водяних суспензій благородних металів (золота і срібла) було враховано можливість наявності включень трьох різних сортів. Показано, що максимуми поглинання відповідають плазмонним резонансам матеріалів включень. Кількість екстремумів відповідає кількості фракцій.

Список літератури: 1. Борен, К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами [Текст] / К. Борен, Д. Хафмен. – М.: Мир, 1986. – 664 с. 2. Венгер, Е. Ф. Оптика малих частинок і дисперсних середовищ [Текст] / Е. Ф. Венгер, А. В. Гончаренко, М. Л. Дмитрук. – К.: Наукова думка, 1999 – 348 с. 3. Гречко, Л. Г. Оптичні властивості малих частинок срібла в колоїдних розчинах [Текст] / Л. Г. Гречко, А. М. Єременко, Г. В. Крилова, Л. Б. Лерман, Н. П. Смірнова, Н. Г. Шкода // Вісник Київського університету. – Сер. фіз.-мат. – 2004. – № 4. – С. 450 – 458. 4. Bruggeman, D.A.J. Berechnung verschiedener physikalischer konstanten von heterigenen Substanzen. P. II [Text] // Ann. Phys. (Leipzig). – 1935. – V. 24, №. 8. – P. 665–679. 5. Lichteneker, K. Die Dielectrizitatskonstante naturlicher und Kunstlicher Mischkorper [Text] // Physik Z. – 1926. – B. 27. – P. 115-255. 6. Криворучко, Я. С. Визначення ефективної діелектричної проникності гетерогенних середовищ та оцінка вмісту вологи в ґрунтах [Текст] // Поверхність – 2011. – Вип.3 (8). – С. 22–28. 7. Jayannavar, A. M. Generalization of Bruggeman's unsymmetrical effective-medium theory to a three-component composite [Text] / A.M. Jayannavar, N. Kumar // Phys. Rev. B. – 1991. – V. 44, № 21. – P. 12014-12015. 8. Wang, J.R. An Empirical Model for the Complex Dielectric Permittivity of Soils as a Function of Water Content [Text] / J.R. Wang, T.J. Schmugge // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 1980. – V. 18, № 4. – P. 288-295. 9. Головки, Д. Б. Методи та засоби частотно-дисперсійного аналізу речовини та матеріалів: У 2 кн.; Кн.1.Фізичні основи. [Текст] / Д. Б. Головки, Ю. О. Скрипник // К.: ФАДА, ЛТД. – 2000. – 200 с. Федюнин, П. А. Микроволновая термовлагометрия [Текст] / П. А. Федюнин, Д. А. Дмитриков, А. А. Ворбовьев, В. Н. Чернышов // М.: Изд-во: Машиностроение. – 2004. – 208 с. 10. Гончарук, Ю. С. Максвелл-Вагнерівська поляризація матричних дисперсних систем з кульовими напівпровідниковими включеннями в електричному полі [Текст] / Ю. С. Гончарук, Л. Г. Гречко, О. Ю. Гришук, Л. Б. Лерман, С. В. Шостак // Вісник Київського університету. Сер. фіз.-мат. – 2006. – № 2. – С. 376-384. 11. Гречко, Л. Г. Поляризація матричних дисперсних систем з кульовими напівпровідниковими включеннями в електричному полі (чисельні результати) [Текст] / Л. Г. Гречко., Л. Б. Лерман, Ю. С. Гончарук, О. Ю. Гришук, Д. Л. Водоп'янов // Вісник Київського

університету. Сер. фіз.-мат. – 2006. – № 3. – С. 451-456. **12.** Гречко, Л. Г. Поляризовність структурно-неоднорідних кульових частинок [Текст] / Л. Г. Гречко, Л. Б. Лерман, Д. Л. Водоп'янов, С. В. Шостак // Вісник Київського університету. Сер. фіз.-мат. – 2007. – № 1. – С. 416 – 425. **13.** Гречко, Л. Г. Поглинання електромагнітного випромінювання в матрично-дисперсних системах з багатошаровими кульовими включеннями [Текст] / Л. Г. Гречко, О. Ю. Грищук, Л. Ю. Куницька, Л. Б. Лерман, М. О. Люценко // Металлофізика: новейшие технологии. – 2008. – Т. 30, № 6. – С. 789-804. **14.** Гречко, Л. Г. Поглинання електромагнітного випромінювання біметалевими частинками та матрично-дисперсними системами на їх основі [Текст] / Л. Г. Гречко, Л. Б. Лерман, С. Л. Корецький, Я. С. Криворучко, С. В. Шостак // Вісник Київського університету. Сер. фіз.-мат. – 2008. – № 4. – С. 260 – 264. **15.** Гречко, Л. Г. Розрахунок ефективної діелектричної проникності матричних дисперсних систем з двошаровими кульовими включеннями [Текст] / Л. Г. Гречко, Л. Б. Лерман, Н. Г. Шкода, О. Я. Покотило, С. В. Шостак // Вісник Київського університету. Сер. фіз.-мат. – 2009. – № 4. – С. 195 – 200. **16.** Jonson, P.B. Optical Constants of the Noble Metals [Text] / P. B. Jonson, R. W. Christy // Phys. Rev. B. – 1972. – V. 6, № 12. – P. 4370 – 4379.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 535.3

Багатокомпонентні гетерогенні системи: ефективна діелектрична проникність та поглинання / Я. С. Криворучко, Л. Б. Лерман, Н. Г. Шкода // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. – № 66 (972). – С. 167--173. – Бібліогр.: 16 назв.

Рассмотрены математические модели, описывающие эффективную диэлектрическую проницаемость многокомпонентных гетерогенных сред. Для расчета используются обобщенные формулы Максвелл-Гарнетта и Лихтенеккера. В первом случае численные расчеты проведены для смеси диэлектриков с малыми потерями в диапазоне СВЧ частот. В другом случае рассмотрено водные суспензии смеси наночастиц золота, серебра, а также частиц, которые состоят из смеси золота и серебра. Рассчитано частотную зависимость диэлектрической проницаемости суспензии в оптическом диапазоне. Установлено, что для таких систем имеет место многоэкстремальная зависимость мнимой части диэлектрической проницаемости. Изд.: 11. Библиогр.: 16 назв.

Ключевые слова: эффективная диэлектрическая проницаемость; гетерогенные системы; наночастицы; формулы Максвелл-Гарнетта.

The mathematical model describing the effective dielectric constant of heterogeneous environments. For calculations, the Generalized Maxwell-Garnett and Lihtenekker. In the first case, the numerical calculations were carried out for a mixture of low-loss dielectrics in the microwave range of frequencies. In another case, the aqueous suspensions examined mixtures of nanoparticles of gold, silver, and the particles that are composed of a mixture of gold and silver. Calculated frequency dependence of the dielectric constant of the suspension in the optical range. Found that for such systems there is a Multiple-dependence of the imaginary part of permittivity. Im.:11 : Bibliogr.: 16.

Keywords: the effective dielectric constant, heterogeneous systems, nanoparticles, formulas Maxwell-Garnett.

УДК 621.374

А.А. ОЛЕНЮК, аспірант, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенко, Харків

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ ЭМП ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СЕМЕНА СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Проведено теоретичне обґрунтування частоти ЕМП для предпосівної обробки насіння сферическої форми.

Ключевые слова: семена; частота ЭМП; предпосевная обработка семян.

Введение

Основным направлением по повышению урожайности культурных растений

© А.А. ОЛЕНЮК, 2012

является разработка новых технологий на основе применения электромагнитного поля (ЭМП) для предпосевной обработки их семян. Главным достоинством электромагнитной технологии по предпосевной обработке семян низкоэнергетическим излучением КВЧ диапазона заключается в возможности улучшения роста и развития растений за счёт мобилизации внутренних резервов самих семян без химических препаратов или методов генной инженерии [1].

Анализ предшествующих исследований

Традиционные пути повышения урожайности культурных растений связаны с применением высокой агротехники, использованием удобрений, орошения, химических и биологических средств защиты, достижений генетики и биотехнологии. Реализовать в полной мере перечисленные средства для повышения урожайности многих растений в настоящее время в Украине не представляется возможным вследствие их трудоёмкости и энергоёмкости, сложности применения, экологической безопасности [2].

Одним из путей решения данной задачи является использование низкоэнергетического (информационного) ЭМП КВЧ диапазона. Однако желаемые изменения свойств биологических объектов могут быть получены только при оптимальном сочетании биотропных параметров воздействующего ЭМП (частота, плотность потока мощности, экспозиция, модуляция и др.).

Определение биотропных параметров связано с существенными трудностями из-за отсутствия теоретических работ, исследующих процесс взаимодействия низкоэнергетических ЭМП с семенами культурных растений [1].

Цель статьи

Проведение теоретических исследований с определением частоты ЭМП для предпосевной обработки семян сферической формы.

Изложение основного материала

Для определения резонансной частоты ЭМП внутри семян сферической формы, рассмотрим шар радиусом a , заполненный однородной изотропной средой с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2$, $\varepsilon_1 > 1$, $\varepsilon_2 \geq 0$.

Введем сферическую систему координат R, θ, φ с центром, совпадающим с центром шара.

Задача состоит в определении собственных функций $\vec{e}_n, \vec{h}_n$ и собственных значений γ_n следующей краевой задачи

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{e}_n &= ik \vec{h}_n, & \operatorname{rot} \vec{e}_n &= ik \vec{h}_n, \\ R &< a; & R &> a. \end{aligned} \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} \vec{h}_n = -ik \gamma_n \vec{e}_n, \quad \operatorname{rot} \vec{h}_n = -ik \vec{e}_n.$$

Функции $\vec{e}_n, \vec{h}_n$ должны удовлетворять условиям сопряжения и условию излучения в области $R > a$.

Решение задачи (1) можно получить методом разделения переменных. С этой целью введем электрический U и магнитный V потенциалы Дебая [3]. С помощью этих потенциалов задача (1) для векторных собственных функций $\vec{e}_n, \vec{h}_n$ может быть сведена к следующим задачам для скалярных функций U и V . Как известно [3] компоненты электромагнитного поля $\vec{E}, \vec{H}$ в однородной изотропной среде с диэлектрической проницаемостью ε и магнитной проницаемостью $\mu = 1$ в сферической системе координат R, θ, φ следующим образом выражаются через потенциалы Дебая

$$E_R = \frac{1}{\bar{k}} \left[\frac{\partial^2 (RU)}{\partial R^2} + \bar{k}^2 RU \right], \quad E_\theta = \frac{1}{\bar{k}R} \frac{\partial^2 (RU)}{\partial R \partial \theta} + \frac{1}{R \sin \theta} \frac{\partial (RV)}{\partial \varphi},$$

$$E_\varphi = \frac{1}{\bar{k}R \sin \theta} \frac{\partial^2 (RU)}{\partial R \partial \varphi} - \frac{1}{R} \frac{\partial (RV)}{\partial \theta}, \quad (2)$$

$$H_R = \frac{1}{ik} \left[\frac{\partial (RV)}{\partial R^2} + \bar{k}^2 RV \right], \quad H_\theta = -i\sqrt{\varepsilon} \left[\frac{1}{\bar{k}R} \frac{\partial^2 (RV)}{\partial R \partial \theta} + \frac{1}{R \sin \theta} \frac{\partial (RU)}{\partial \varphi} \right],$$

$$H_\varphi = -i\sqrt{\varepsilon} \left[\frac{1}{\bar{k}R \sin \theta} \frac{\partial^2 (RV)}{\partial R \partial \varphi} - \frac{1}{R} \frac{\partial (RU)}{\partial \theta} \right], \quad (3)$$

где $\bar{k} = k\sqrt{\varepsilon}$, $k = \omega/c$.

Потенциалы Дебая U и V должны удовлетворять уравнению Гельмгольца

$$\Delta U + \bar{k}^2 U = 0, \quad \Delta V + \bar{k}^2 V = 0. \quad (4)$$

Здесь Δ - оператор Лапласа в сферической системе координат

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial}{\partial R} + \frac{1}{R^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \frac{1}{R^2} \cotg \theta \frac{\partial}{\partial \theta}. \quad (5)$$

В терминах потенциалов Дебая задача (1) примет следующий вид. Пусть U_n и V_n - потенциалы Дебая соответствующие полям $\vec{e}_n$ и $\vec{h}_n$ собственных функций. Требуется определить собственные значения, γ_n при которых существуют нетривиальные решения уравнений Гельмгольца

$$\Delta U_n + k^2 \gamma_n U_n = 0, \quad \Delta V_n + k^2 \gamma_n V_n = 0, \quad R < a, \quad (6)$$

$$\Delta U_n + k^2 U_n = 0, \quad \Delta V_n + k^2 V_n = 0, \quad R > a, \quad (7)$$

удовлетворяющие на границе шара $R = a$ условиям сопряжения

$$U_n^- = \sqrt{\gamma_n} U_n^+, \quad V_n^- = V_n^+, \quad (8)$$

$$\frac{\partial (RU_n^-)}{\partial R} = \frac{1}{\sqrt{\gamma_n}} \frac{\partial (RU_n^+)}{\partial R}, \quad \frac{\partial V_n^-}{\partial R} = \frac{\partial V_n^+}{\partial R},$$

а вне шара $R > a$ условию излучения Зоммерфельда

$$\lim_{R \rightarrow \infty} R \left(\frac{\partial U_n}{\partial R} - ik U_n \right) = 0, \quad \lim_{R \rightarrow \infty} R \left(\frac{\partial V_n}{\partial R} - ik V_n \right) = 0. \quad (9)$$

В (8) знаки плюс и минус обозначают предельные значения функций на границе $R = a$, соответственно, изнутри и извне шара. Как следует из (6) – (9), задача о собственных функциях распадается на две независимые задачи: $U_n \equiv 0, V_n \neq 0$; $U_n \neq 0, V_n \equiv 0$. Далее будем рассматривать задачу, для которой $U_n \equiv 0$. Такой выбор продиктован следующими соображениями. Поле излучения в дальней зоне антенны представляет собой сферическую волну и, следовательно, компонента E_R поля излучения практически близка к нулю. Это в соответствии с (2) отвечает собственным функциям у которых $U_n \equiv 0, V_n \neq 0$.

Применяя к задаче (6) – (9) метод разделения переменных и учитывая условие излучения и ограниченность V_n внутри шара ($R < a$), получаем следующее представление для решений уравнения Гельмгольца (6), (7)

$$V_n(R, \theta, \varphi) = \begin{cases} A J_{q+\frac{1}{2}}(k \sqrt{\gamma_n} R) P_q^m(\cos \theta) e^{im\varphi}, & R < a \\ B H_{q+\frac{1}{2}}^{(1)}(k R) P_q^m(\cos \theta) e^{im\varphi}, & R > a \end{cases} \quad (10)$$

где $q = 0, 1, 2, \dots$, $|m| \leq q$, $m = 0, \pm 1, \dots, \pm q$, A и B - произвольные константы, $J_{q+\frac{1}{2}}(\dots)$, $H_{q+\frac{1}{2}}^{(1)}(\dots)$ - функции Бесселя и Ханкеля полуцелого индекса, $P_q^m(\dots)$ - присоединенные полиномы Лежандра.

Подставляя (10) в условия сопряжения (8) имеем

$$A J_{q+\frac{1}{2}}(k a \sqrt{\gamma_n}) - B H_{q+\frac{1}{2}}^{(1)}(k a) = 0, \quad (11)$$

$$\sqrt{\gamma_n} A J'_{q+\frac{1}{2}}(k a \sqrt{\gamma_n}) - B H_{q+\frac{1}{2}}^{(1)'}(k a) = 0,$$

где штрих обозначает операцию дифференцирования по аргументу.

Для того, чтобы система уравнений (11) имела нетривиальные решения ($A \neq 0$, $B \neq 0$) необходимо и достаточно обращения в нуль ее определителя. Отсюда получаем характеристическое уравнение для нахождения собственных значений γ_n

$$J_{q+\frac{1}{2}}(k a \sqrt{\gamma_n}) H_{q+\frac{1}{2}}^{(1)'}(k a) - \sqrt{\gamma_n} J'_{q+\frac{1}{2}}(k a \sqrt{\gamma_n}) H_{q+\frac{1}{2}}^{(1)}(k a) = 0 \quad (12)$$

Здесь индекс $q = 0, 1, 2, \dots$.

Таким образом, определив собственные значения γ_n из (12), имеем

$$V_n(R, \theta, \varphi) = \begin{cases} J_{q+\frac{1}{2}}(k R \sqrt{\gamma_n}) P_q^m(\cos \theta) e^{im\varphi}, & R < a \\ \frac{j_{q+\frac{1}{2}}(k a \sqrt{\gamma_n})}{H_{q+\frac{1}{2}}^{(1)}(k a)} H_{q+\frac{1}{2}}^{(1)}(k R) P_q^m(\cos \theta) e^{im\varphi}, & R > a \end{cases} \quad (13)$$

Формулы (12) и (13) позволили рассчитать собственные значения и соответствующие им собственные функции γ_n и $k a$:

$$\sqrt{\gamma_n} = \frac{\pi \left(n + \frac{1}{2} \right)}{k a} \left[1 - \frac{i k a}{\pi^2 \left(n + \frac{1}{2} \right)^2} \right], \quad (14)$$

$$k a = \frac{\pi \left(n + \frac{1}{2} \right)}{\sqrt{\varepsilon} + \frac{i}{\pi \left(n + \frac{1}{2} \right)}}, \quad n = 1. \quad (15)$$

Выводы

Выражение (15) позволяет выбрать диапазон частот, где при заданной диэлектрической проницаемости семян, возможно наиболее эффективное

взаимодействие поля излучения с семенами, имеющих идеальную сферическую граничную поверхность.

Список литературы: 1. Черенков А. Д. Применение информационных электромагнитных полей в технологических процессах сельского хозяйства / Черенков А. Д., Косулина Н. Г. // Светотехника та електроенергетика. – 2005. - №5 – стр. 77-80. 2. Жукова П. С. Регуляторы роста и гербициды / П. С. Жукова // «Урожай». – 1990. – стр. 165. 3. А. Анго. Математика для электро- и радиоинженеров / Анго А. – М.: Наука, 1965. – 778 стр.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 621.374

Определение резонансной частоты эмп для воздействия на семена сферической формы / А.А. Оленюк // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 173-177. – Бібліогр.:3 назв.

Проведено теоретичне обґрунтування частоти ЕМП для передпосівної обробки насіння сферичної форми

Ключові слова : насіння; частота ЕМП; передпосівна обробка насіння.

The theoretical explanation was made for the EMF frequency for presowing spherically shaped seeds.

Key words: seeds, EMF frequency, presowing seeds.

УДК 57.041+005

А. О. НОВІКОВА, канд. техн. наук, доц., ХНТУ, Херсон

ВИВЧЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗМІНИ ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ

Робота присвячена аналізу методів зменшення впливу емоційних навантажень на функціональний стан людини з метою підвищення рівня здоров'я населення країни.

Ключові слова: емоції, біоінженерія, нанотехнології, системний аналіз.

Вступ

Населення сучасного Світу поглинене емоціями різної складності, природи й контрастів. Емоції часом заважають людині "жити", оскільки означаються на роботі, особистому житті, і, звичайно, - здоров'ї. Емоція - це наше підсвідоме, те, чим ми часом не можемо управляти. Вони можуть приводити до непоправних наслідків. Раніше [1], ми описували проблеми накопичення емоцій. У даній роботі представляємо "боротьбу" з емоціями за допомогою біоінженерних технологій з метою підвищення здоров'я населення.

Мета роботи

Метою роботи є побудова моделі використання сучасних нанотехнологій для зміни емоційного стану. Об'єктом дослідження даної роботи є процес зміни емоційного стану біооб'єкта при впливі різних видів нанотехнологій.

Предмет дослідження є емоції біооб'єкта, біоінженерія, наномедицина, нанохімія.

Методика дослідів

Побудова моделей впливу нанотехнологій на зміну емоційного стану будується на системному й математичному аналізі.

Розглядається поняття емоцій людини, їхня поява, фізіологічна структура, види [2-5]. При цьому тон емоцій побудований ґрунтуючись на поняття шкал. У роботі розглядається поняття сучасних нанотехнологій, але з погляду природного їхнього походження, тобто застосування в біоінженерії й наномедицині, але з використанням нанохімії, так як зміна емоційного стану відбувається на хімічному рівні.

© А. О. НОВІКОВА, 2012

Системний аналіз побудований з виділенням метасистеми, як джерела впливу на систему мозку.

Для моделювання наночастки, що могла б контролювати й змінювати емоційний стан біооб'єкта необхідно розглянути поняття й моделі емоцій.

Обговорення результатів

Сучасні нанотехнології - це не тільки роботи й чипи, побудовані по інноваційних технологіях із застосуванням електроніки й комп'ютерних технологій, але сюди також входить поняття біоінженерії й нанохімії.

Фізичні вправи, медитація й різні методи релаксації, зміна відносини й посилене харчування є ефективними шляхами, що дозволяють переборювати стрес. Існує два методи зміни емоційного стану: гіпо й гіперстимуляційні [6].

До гіпестимуляційного методу відносять методи, засновані на вживанні наркотиків, галюциногенних грибів і інших засобів штучного або природного походження, які можуть змінити не тільки емоційний, але й психічний стан. Оскільки не можна виключати, що сучасні технології можуть використовувати дані методи, то необхідно зупинитися на даній проблемі й включити її в майбутню модель.

До гіпостимулюючих методів відносять величезне поле психотехнік, у яких зміна свідомості (ЗС) різної глибини викликається або монотонією, або частковою сенсорною депривацією. Із психологічної точки зору, процес входу в ЗС за допомогою гіпостимулюючих методів представляє собою процес відключення сенсорних систем і внутрішньої мови, що є джерелами шуму щодо об'єкта фокусування свідомості. Як об'єкт зосередження можуть виступати як внутрішні, так і зовнішні об'єкти.

Як внутрішній об'єкт може виступати який-небудь м'яз або група м'язів, які хочемо розслабити, або образ (при спрямованих візуалізаціях), символ (медитація на чакри), знак. При зосередженні на тілесне відчуття повинні бути відключені зір, слух, тактильні, нюхові й смакові рецептори, а вся увага сконцентрована на кінестетичній системі. В інших випадках свідомість повинна бути відключена й від кінестетичної системи, але сконцентрована на об'єкті зосередження медитації. Внутрішня мова повинна бути зупинена в обох випадках.

Як зовнішні об'єкти можуть виступати як зовнішні природні (місяць, дерево й ін.), так і різні штучні об'єкти (янтри, зображення богів і ін.).

Монотонний спів (мантр, молитов, вимова різних інших звукоформ, що не мають значеннєвого навантаження), ритмічні танці (які мають характер ритуальних рухових паттернів) є найбільш древніми способами зміни свідомості. Вони можуть також включати тривалу ізоляцію від суспільства, сенсорну ізоляцію, пост, позбавлення сну.

Серед штучних гіпостимулюючих методів дуже відомий гіпноз, тимчасовий змінений стан свідомості, що характеризується звуженням його обсягу й різанням фокусуванням на зміст вселяння, що пов'язане зі зміною функцій індивідуального контролю й самосвідомості. Гіпноз викликається й розвивається в тих же умовах і по тим ж законам, що й нормальний сон, але індуктором ЗС при гіпнозі завжди є монотонна стимуляція (голос, звук метронома, блиск молоточка й ін.).

Важливо підкреслити, що епізоди змінених станів свідомості різної глибини й тривалості можуть виникати й спонтанно, коли індукторами виступають фактори середовища, природна гіпо- і гіперстимуляція.

Окрему групу становлять біологічно-активні добавки (БАД), які не відносимо ні гіпо- ні до гіперстимуляційних методів. Однак вони здатні змінювати емоційний стан біооб'єкта, як сучасний засіб біоінженерії й нанохімії.

По вищесказаному аналізу проведемо моделювання. На першому етапі побудуємо системну модель, що представлена на рис.

Як метасистему використовуємо нанотехнології, які як джерело дії на організм безпосередньо впливають на всю нервову систему організму й у такий спосіб може сприяти зміні емоційного стану.

Дана система не описує повну зміну хімічних процесів, що відбуваються при дії сучасних технологій.

Відповідно до системного подання побудована математична модель.

Кожний вид емоції (e_i , $i=1, \dots, k$) має тональність (f) і тривалість (t). Зміна емоційного настрою (Δe_i) буде залежати від виду прийнятого "ліків" (x_j , $j=1, \dots, m$), їх кількості (n), а також тривалості прийому (τ). У такий спосіб можна сказати:

$$\Delta e_i(t, f) \sim nx_j.$$

З іншої сторони тривалий прийом подібних "ліків" може привести до емоційного зриву й навіть загибелі організму, будь то "позитивні" або "негативні" емоції. Сказане можна записати як:

$$\lim_{\Delta e_i \rightarrow \infty} e_i = \frac{nx_j}{\tau}.$$

Таким чином, подальшою науковою роботою повинно бути вивчення підбора оптимального часу й дозування нанотехнологічних засобів для нормальної емоційної адаптації організму.

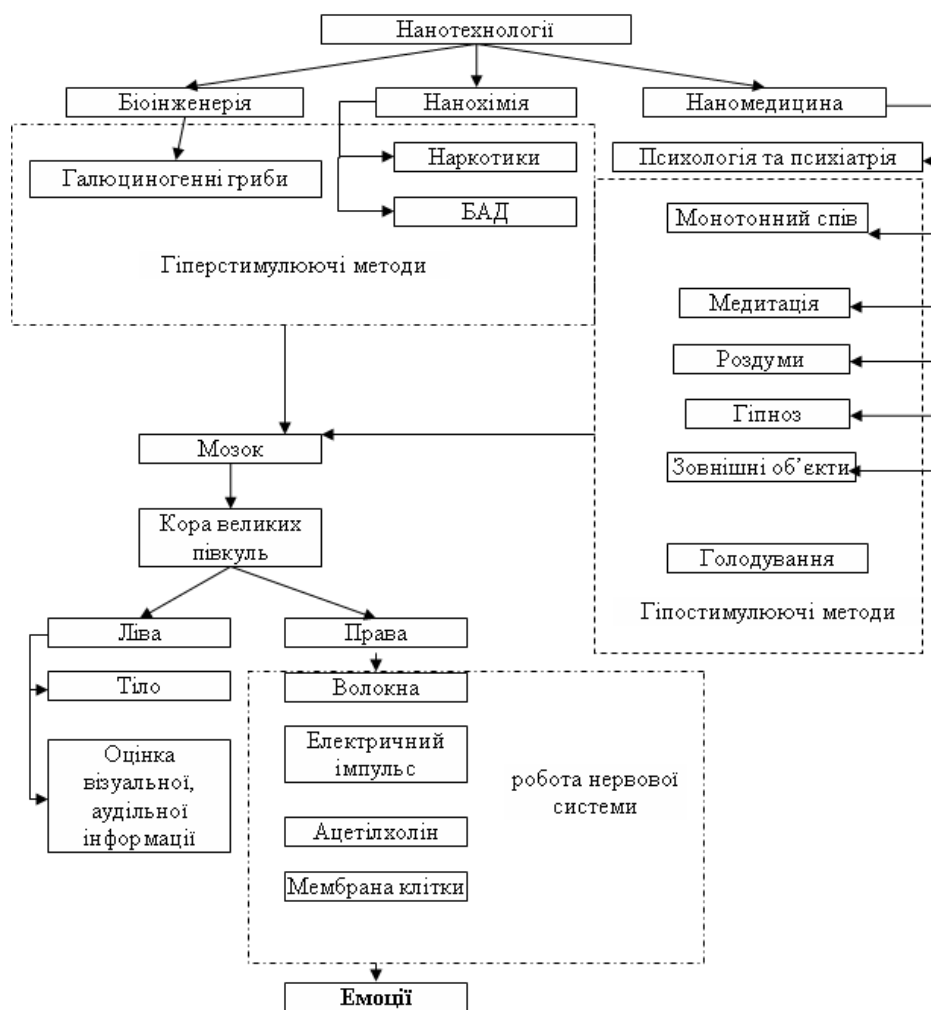


Рис. – Системна модель впливу нанотехнологій на емоційний стан

Висновки

На основі літературних даних побудовано системну модель впливу

«нанотехнологій» на зміну емоційного стану об'єкта. Виявлено, що при тривалому знаходженні об'єкта в стані "позитивних" або "негативних" емоцій може привести до зриву його функціонального стану.

Список літератури: 1. Новікова А. О. Проблема накопичування емоціональної енергії в організмі [Текст] // Materialy IV Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji “Nowoczesnych naukowych osiągnięć – 2008” Tým 12. Medycyna. Nauk biologicznych. Weterynaria.: Przemysł. Nauka i studia. – С. 65-67 2. Немов Р. С. Психология [Текст]: Учеб. для студ. высш. пед. учеб. заведений: В 3 кн. – 4-е изд. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2000. – Кн. 1: Общие основы психологии. – 688с. 3. Симонов П. В. Информационная теория эмоций [Текст] // Психология эмоций: Тексты. М., 1993. – 249 с. 4. Шульговский В. В., Котляр Б. И. Физиология центральной нервной системы [Текст]. М., Изд-во МГУ, 1979. – 421 с. 5. Анохин П. К. Очерки по физиологии функциональных систем [Текст]. М., Медицина, 1975. – 367 с. 6. Аведисова А. С. Ремиссия: новая цель терапии и новые методы ее оценки [Текст] // Психиатрия и психофармакотерапия. – 2004. – Т. 6. – № 4. – С. 7.

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 57.041+005

Вивчення використання нанотехнологій для зміни емоційного стану/ А. О. Новікова // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 66 (972). – С. 177-180. – Бібліогр.:6 назв.

Работа посвящена анализу методов уменьшения влияния эмоциональных нагрузок на функциональное состояние человека с целью повышения уровня здоровья населения страны.

Ключевые слова: эмоции, биоинженерия, нанотехнологии, системный анализ.

Work is devoted the analysis of methods of reduction of influence of emotional loadings on the person' functional condition for the purpose of increase of health level of the population of the country.

Keywords: emotions, bioengineering, nanotechnologies, the system analysis.

УДК 541.311:614.84

С. П. ГОЛИКОВ, канд. техн. наук, доц., декан, Керченский государственный морской технологический университет;

Э. В. ПРОСВИРНИНА, инженер, Керченский государственный морской технологический университет;

Б. А. АВДЕЕВ, аспирант, ассистент, Керченский государственный морской технологический университет

КИНЕТИКА ОЧИСТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В МАГНИТНЫХ ОТСТОЙНИКАХ

Рассмотрена проблема повышения степени очистки вязких сред от механических примесей и уменьшения массогабаритных показателей магнитных отстойников. Проанализированы возможные конструкции и найдены три базовые модели исполнения. Рассмотрено влияние ориентации флоккулы на сопротивление движения в вязких средах.

Ключевые слова: отстойник, флоккула, осаждение, коагуляция частиц, магнитное поле.

Введение

В статье рассмотрены вопросы очистки вязких сред от механических примесей в магнитных отстойниках. Особое внимание уделено влиянию магнитного поля на флоккулообразование в рабочих камерах, поскольку эти явления сложны и недостаточно раскрыты.

Цель работы

Отстойники, предназначенные для очистки вязких сред от механических примесей, нашли широкое применение в различных отраслях народного хозяйства из-за простоты

© С. П. ГОЛИКОВ, Э. В. ПРОСВИРНИНА, Б. А. АВДЕЕВ, 2012

конструкций и их эксплуатации, надежности работы и низких материало- и энергозатрат [1]. В связи с тем, что в примесях очень часто содержатся частицы, обладающие электрическими свойствами, то с целью повышения эффективности очистки применяют поля электрической природы [2]. Несмотря на то, что данные устройства применяются давно, до сих пор не изучены многие вопросы теоретического и экспериментального характера, связанные с применением электрических полей.

Информационный анализ исследований и публикаций

Применение магнитного поля для очистки технических жидкостей (моторные масла, охлаждающие эмульсии и т.д.) наиболее эффективно тогда, когда количество магнитных частиц позволяет производить их вынужденную коагуляцию. Основная сила действующая на частицы в отстойнике – это гравитационная; кроме нее, при наличии поля, на частицы действуют и магнитные – притяжения и коагуляции [2]:

$$F_M = \mu_0 \cdot \chi_T \cdot V \cdot H \cdot \frac{dH}{dl} \quad (1)$$

где $\mu_0 = \text{const} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ - магнитная постоянная, Гн/м; χ_T - магнитная восприимчивость, о.е.; V - объем частицы, м³; $H, dH/dl$ – напряженность магнитного поля и его изменение в направлении движения частицы, А/м и А/м² соответственно.

Однако магнитные силы не только притягивают магнитные частицы к зонам с наибольшей напряженностью поля, но и служат для их коагуляции. Под действием магнитных (кулоновских) сил частицы увеличиваются, образуя флоккулы игольчатой структуры:

$$F_k = \frac{4 \cdot \pi \cdot M_1 \cdot M_2}{\mu_0 \cdot \mu_c \cdot r^2} \quad (2)$$

где M_1, M_2 - "магнитные массы" частиц, м²·кг/с²·А; μ_c - магнитная проницаемость среды, в которой находятся частицы; r - расстояние между частицами, м.

Теоретическая часть

Магнитное поле внутри рабочей камеры увеличивает не только эффективность очистки, но и уменьшает массо-габаритные показатели, т.к. скоагулированные частицы имеют больший вес, и соответственно, им требуется меньше время для осаждения. Таким образом, уменьшается объем отстойника и время пребывания очищаемой жидкости в нем [3].

На рис. 1 изображены два отстойника: один – обыкновенный, второй – с источником магнитного поля, расположенным на дне рабочей камеры. Как мы можем видеть, что частицы притягиваются к полюсу (области с наибольшей напряженностью), тем самым уменьшая расстояние, требующего для осаждения на дно отстойника. Две другие частицы скоагулировали между собой, что существенно сократило расстояние, проходимое частицей. Суммируя эти два фактора, мы можем сказать, что применение магнитного поля в проточном отстойнике сокращает его длину на ΔL при сохранении степени очистки. Существуют множество конструкций магнитных отстойников [4-6], однако можно выделить 3 базовые, представленные на рис. 2.

Первый тип использует магнитное поле для предварительной коагуляции частиц

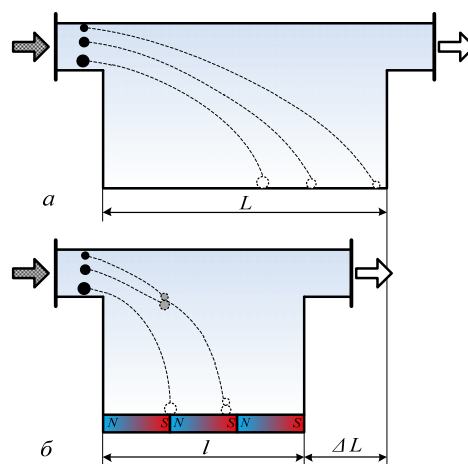


Рис.1 – Осаждения магнитных частиц в отстойниках: а – без магнитного поля, б – с магнитным полем.

на входе. Скоагулированные частицы под действием силы тяжести осаждаются на дно, где их извлекают из рабочей камеры с помощью различных устройств (в данном случае – с помощью шнека). Данная конструкция характеризуется минимальным потреблением электроэнергии, но в то же время у неё есть и недостатки. Главным недостатком отстойника с электромагнитным коагулятором является то, что разрушение флоккулы может происходить в рабочей камере или под действием перемешивание жидкости, или в случае, когда механические примеси относятся к магнитомягким материалам.

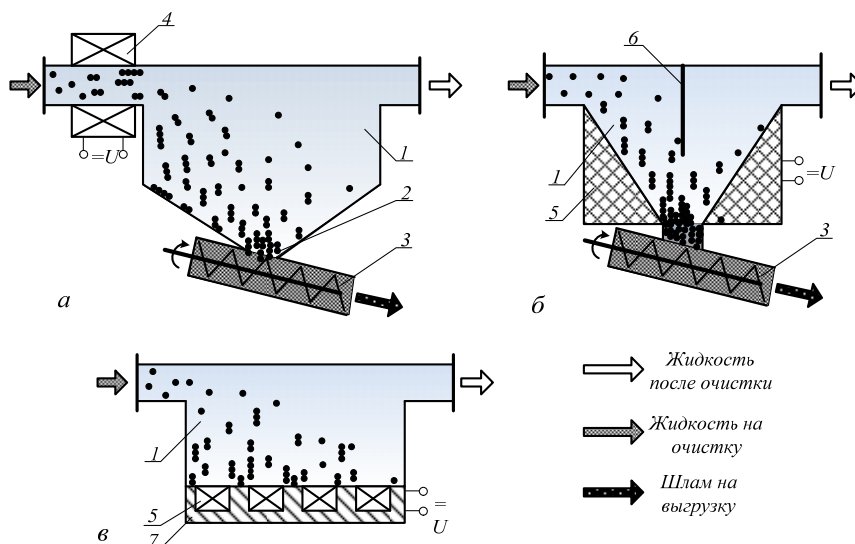


Рис. 2 – Базовые конструкции магнитных отстойников: а) отстойник с электромагнитным коагулятором; б) отстойник-коагулятор; в) отстойник-осадитель (1 – рабочая камера, 2 – шлам, 3 – шнек для выгрузки продуктов отстоя, 4 – электромагнитный коагулятор, 5 – электромагнитная с ма (катушка), 6 – перегородка, 7 – ферромагнитный сердечник)

Второй тип отличается от предыдущего тем, что коагуляция частиц идет не на входе, а в рабочей камере, тем самым не давая флоккуле распасться. Кроме того, катушка намотана таким образом, что напряженность магнитного поля увеличивается с приближением к днищу отстойника. тем самым на частицу будет действовать не только гравитационная, но и магнитная сила. Перегородка служит для того, чтобы поток жидкости проходил через всю рабочую камеру, в противном случае действие магнитного поля на механические примеси будет минимальным. К недостаткам данного типа отстойников можно также отнести большие материальные и энергетические затраты на электромагнитную систему, поэтому данный тип применяется крайне редко, несмотря на высокую степень очистки.

Процесс коагулирования частиц в магнитном отстойнике-осадителе происходит непосредственно в рабочей камере. Скоагулированные частицы под действием гравитационной и магнитной сил оседают на полюсах электромагнитной системы. К достоинствам отстойника-осадителя можно отнести и тот фактор, что он улавливает и магнитомягкие примеси. Данный тип магнитных отстойников получил наибольшее распространение так как обеспечивает высокую эффективность очистки при относительно небольших материало- и энергетических затратах. Однако, эта конструкция магнитных отстойников не имеет удобного шламособорника и выгрузка шлама может производиться производиться или через крышку отстойника, или через боковую стенку.

Магнитные отстойники часто имеют перегородки и немагнитные насадки [7,8] для того, чтобы дать всему загрязненному потоку пройти мимо магнитного поля с высокой напряженностью.

Расчёт отстойников с предварительной коагуляцией достаточно сложный, образовавшиеся флоккулы имеют неодинаковое количество частиц, и поэтому применение закона Стокса, который используется при расчёте процесса гравитационной

очистки (осветления), является некорректным, так как он применим только для сферических частиц [9].

Общеизвестна формула для осветления жидкостей в отстойниках, в которых находятся механические примеси (в области применения закона Стокса) [4]:

$$-\frac{dn}{d\tau} = \frac{1}{h} \cdot n \cdot U_0 \quad (3)$$

при $\tau(0)=0$, $n(0)=n_0$, $h=const$, $U_0=const$,

где n_0 , n – начальное и текущее значение частиц в отстойнике, ед.; h – высота отстойника, м; U_0 – скорость осаждения частиц, м/с.

В случае высокой полидисперсности частиц, U_0 вычисляется для каждой фракции (для каждого размера частиц) отдельно.

Таким образом, для определения скорости флоккул, образованных под воздействием магнитного поля, нужны дополнительные исследования теоретического и экспериментального характера.

Методика экспериментов

Ниже приведены результаты экспериментального исследования осаждения флоккул [9], которые образовались после действия на магнитные частицы магнитным полем. Схема экспериментальной установки и результаты исследования представлены на рис. 3.

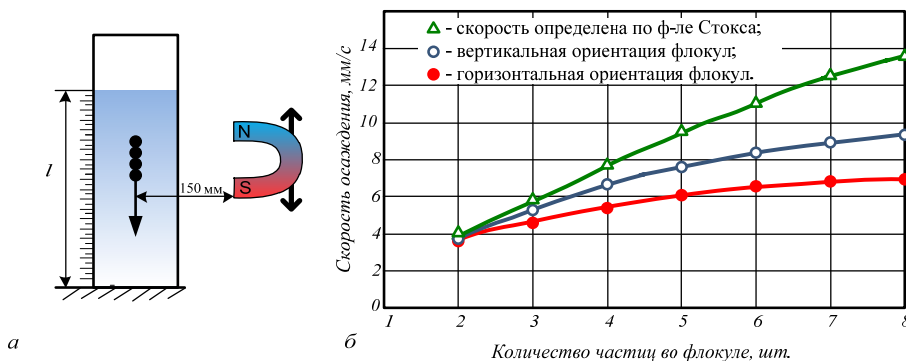


Рис. 3 – а) схема установки для изучения гидравлического сопротивления движению частиц при различной их ориентации в вязкой среде; б) зависимость скорости осаждения флоккул при горизонтальной и вертикальной их ориентации

Условия эксперимента: частицы сферические ($d=1\text{ мм}$), среда-глицерин (4ДА ГОСТ 6259-71), постоянный магнит для ориентации флоккул при осаждении, термометр, секундомер. Наблюдения осуществлялись за движением частиц одиночных, сдвоенных, строенных и т.д. Постоянный магнит передвигался одновременно с осаждением тел на расстоянии 150 мм от колбы, поэтому магнитное поле не оказывало влияния на горизонтальное и вертикальное передвижение частиц, их осаждение проходило только под действием силы тяжести. Каждое тело осаждалось неоднократно (от 7 до 12 раз) в горизонтальном и вертикальном положениях.

Обсуждение результатов

Анализ эксперимента показал, что разница скоростей осадки увеличивается с увеличением числа частиц во флоккле; дальнейшее увеличение числа частиц приводит к стабилизации разницы, что вполне объяснено и физически за счёт выравнивания коэффициента лобового сопротивления.

Силе тяжести противодействовала сила сопротивления среды, которая вычисляется по следующей формуле [10]:

$$F_d = \lambda \cdot S_r \cdot \rho_c \frac{U^2}{2} \quad (4)$$

где λ – коэффициент сопротивления среды, о.е.; S_r – поперечное сечение частицы, м^2 ; ρ_c – плотность среды, кг/м^3 ; U – скорость движения частицы, м/с.

Сила сопротивления среды для частиц сферической формы вычисляется по формуле Стокса [11]:

$$F_d = 3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot d_d \cdot U \quad (5)$$

где η – динамическая вязкость среды, Па·с; d_d – диаметр сферической частицы, м.

Несмотря на то, что эквивалентный диаметр и фактор формы флокул при различных ее ориентациях будут одинаковы, скорости осаждения отличаются друг от друга, поэтому приведение частиц к эквивалентной сфере и нахождение фактора формы лишено смысла.

Установленные числовые значения скорости и осаждения (вертикально ориентированные осаждаются быстрее горизонтально ориентированных) в зависимости от числа частиц в флокуле.

Исходя из формулы (4) наибольшая скорость осаждения должна наблюдаться при вертикальной ориентации, т.к. поперечное сечение флокулы будет минимальным (см. таблицу1). Однако не учитывается сопротивление среды о боковые поверхности флокул (особенно это заметно у вертикально ориентированной); это делает прогноз скорости осаждения от поперечного сечения некорректным. Экспериментальные данные полностью подтверждают последнее высказывание.

Таблица 1–Значения поперечного сечения флокулы при ее различных ориентациях и эквивалентном диаметре

Ориентация	Значение
Вертикальная	$\pi \cdot d^2 / 4$
Горизонтальная	$n \cdot \pi \cdot d^2 / 4$
Эквивалентный диаметр	$\pi \cdot n^{2/3} \cdot d^2 / 4$

где d – диаметр одной частицы во флокуле, м; n – число частиц во флокуле, ед.

Представим результаты в виде знаковой модели, определив её через скорость осаждения флокул U_ϕ :

$$U_\phi = U_0 \cdot f(n_\phi) \quad (6)$$

где U_0 –скорость осаждения частицы сферической формы, м/с; n_ϕ – число частиц во флокуле, ед.:

$$n_\phi = \frac{l_\phi}{d_\phi} \quad (7)$$

где l_ϕ , d_ϕ - длина и диаметр флокул соответственно, м; $f(n_\phi)$ - функциональная зависимость, которая находится из эксперимента.

$$U_{\phi, \text{г}} = U_0 \cdot (0,455 \cdot \exp(-0,263 \cdot n_\phi) + 0,644) \quad (8)$$

$$U_{\phi, \text{в}} = U_0 \cdot (0,782 \cdot \exp(-0,389 \cdot n_\phi) + 0,462) \quad (9)$$

Величина достоверности аппроксимации (R^2) для скорости осаждения флокул при горизонтальной ориентации составляет 0,996, для вертикальной - 0,998.

Представим результаты в виде знаковой модели, определив её через коэффициент аэродинамического сопротивления λ_ϕ :

$$\lambda_\phi = \lambda_0 \cdot f(n_\phi) \quad (10)$$

В общем виде ее можно найти исходя из равенства сил сопротивления и гравитационной:

$$\lambda_{\phi} = \frac{2 \cdot M \cdot g}{S \cdot U^2} \quad (11)$$

где $M = m_i \cdot n_{\phi}$ – масса флоккулы, кг.

Для вертикальной ориентации зависимость будет иметь следующий вид:

$$\lambda_{\phi} = \lambda_0 \cdot (2,227 \cdot \exp(-0,952 \cdot n_{\phi}) + 0,139) \quad (12)$$

Величина достоверности аппроксимации (R^2) для коэффициент аэродинамического сопротивления составляет 0,998. Графически зависимость представлена на рис. 4.

Значения λ_{ϕ} при горизонтальной ориентации получаются не зависящие напрямую от числа частиц во флоккуле.

Полученные результаты целесообразно использовать в инженерной практике для расчёта отстойников и при математическом моделировании кинематики процессов магнитной коагуляции и осаждения частиц.

Вывод

В статье рассмотрены вопросы, касающиеся очистки вязких сред от механических примесей, содержащие магнитные компоненты, в отстойниках. Произведен анализ существующих конструкций и представлены базовые варианты исполнения очистных устройств гравитационного типа. Найдены экспериментальные зависимости скорости осаждения и коэффициента лобового сопротивления от количества частиц во флоккуле. Доказано, что использование только фактора формы и эквивалентного диаметра недостаточно для расчетов. Полученные результаты рекомендуются использовать при расчете магнитных отстойников.

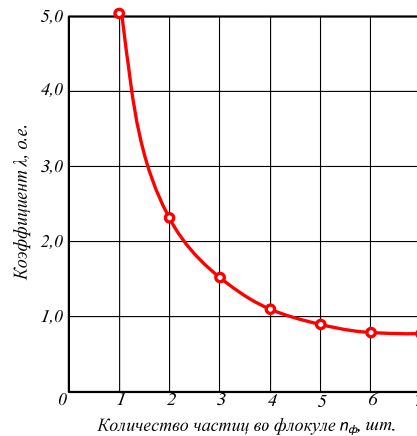


Рис. 4 – Зависимость $\lambda = f(n_{\phi}) = f\left(\frac{l_{\phi}}{d_{\phi}}\right)$ при вертикальной ориентации частиц

Список литературы: 1. Масюткин Е.П. Очистка технических жидкостей от магнитных примесей в инфраструктуре водного транспорта [Текст] / Е.П. Масюткин, В.И. Просвирнин, Б.А. Авдеев. - Рыбное хозяйство Украины. – Керчь : КГМТУ, 2012. – № 3 (80). – С. 40-49. 2. Александров, Е. Е. Повышение ресурса технических систем путем использования электрических и магнитных полей [Текст] : Монография / Е. Е. Александров, И. А. Кравец, Е. Н. Лысков [и др.]. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2006. – 544 с. 3. Масюткин Е.П. Алгоритм расчета магнитных отстойников / Е.П. Масюткин, Э.В. Просвирнина. - Рыбное хозяйство Украины – Керчь : КГМТУ, 2011 №2 (73) – С. 42-43. 4. Циборовский Я. Основы процессов химической технологии / Я. Циборовский ; перевод с польск.-Л.: Химия, 1967.- 719с. 5. Масюткин Е.П. Новые конструкции магнитных отстойников / Е.П. Масюткин, Э.В. Просвирнина. - Рыбное хозяйство Украины. – Керчь : КГМТУ, 2010. – № 6 (70). – С. 32-33. 6. Гулевський В.Б. Розробка магнітних відстійників для підвищення ефективності мастильно-охолоджувальних рідин при ремонті деталей засобів транспорту / В.Б. Гулевський // Електротехніка і електромеханіка: Науково-практичний журнал. – 2009. – №2. – С. 27-28. 7. Пат. UA 11072, МПК⁷ B03C 1/00, Електромагнітний фільтр-сепаратор / Масюткін Є.П., Гулевський В.Б., Просвирнін В.І., Масюткін Д.Є. (UA). - 200504571; Заявл. 16.05.2005; Опубл. 15.12.2005; Бюл. № 12. 8. Пат. UA 52441, МПК B03C 1/02, Магнітний відстійник / Масюткін Є. П., Просвирнін В.І., Гулевський В.Б., Хасай Д.В. (UA). - 2002531; Заявл. 09.03.2010; Опубл. 25.08.2010; Бюл. № 16. 9. Масюткин Е.П. Влияние формы золь на эффективность очистки дисперсных сред / Е.П. Масюткин, В.И. Просвирнин, Б.А. Авдеев. - Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2012. – 5/8 (59). С. 52-57. 10. Фукс, Н. А. Механика аэрозолей [Текст] / Н. А. Фукс. – М. : АН СССР, 1955. – 352 с. 11. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч. II.

УДК 541.311:614.84

Кинетика очистки технических жидкостей в магнитных отстойниках / С. П. Голиков, Э. В. Просвирнина, Б. А. Авдеев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 66 (972). – С. 180-186. – Бібліогр.: 11 назв.

Розглянуто проблему підвищення ступеня очищення в'язких середовищ від механічних домішок і зменшення масогабаритних показників магнітних відстійників. Проаналізовано можливі конструкції і знайдені три базові моделі виконання. Розглянуто вплив орієнтації флокули на опір руху у в'язких середовищах.

Ключові слова: відстійник, флокула, осадження, коагуляція часток, магнітне поле.

Problem was considered of increasing degree of purification of viscous fluids from solids and reducing the dimensions and weight of the magnetic sumps. The possible designs was analyzed: three basic models of execution was found. Also, the influence of particles orientation on the resistance movement in viscous media was considered.

Keywords: sump floccula, precipitation, coagulation of particles, magnetic field.

УДК 669.187.001.2

А. И. ЗУБКОВ, канд. физ.-мат. наук, доц., НТУ «ХПИ»;

М. А. ГЛУЩЕНКО, студент, НТУ «ХПИ»;

А. А. ОСТРОВЕРХ, мнс ННЦ ХФТИ, Харьков

СТРУКТУРА ВАКУУМНЫХ ПСЕВДОСПЛАВОВ CU-MO. ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МОЛИБДЕНА И УСЛОВИЙ КОНДЕНСАЦИИ

Исследована структура конденсатов Cu-Mo, полученных электронно-лучевым испарением компонентов из различных источников и последующей кристаллизацией смесей их паров на неориентирующих подложках в вакууме $\sim 1 \cdot 10^{-3}$ Па (PVD-технология). Показано, что диспергирование зеренной структуры медной матрицы обусловлено образованием сегрегаций молибдена на поверхности растущих зерен меди. Определено количество молибдена, которое полностью блокирует рост зерен медной матрицы.

Ключевые слова: конденсация, вакуум, псевдосплав, сегрегация.

Цель работы. Целью работы является изучение возможностей диспергирования зеренной структуры конденсатов меди путем варьирования условий осаждения и содержания молибдена.

Материал и методика проведения исследований. Исследовали фольги конденсатов Cu-Mo с содержанием молибдена в диапазоне 0,1 – 1,7 ат.%. Образцы для исследований представляли собой фольги толщиной 20 – 50 мкм, полученные испарением меди и молибдена электронно-лучевым способом из различных медных водоохлаждаемых изложниц в вакууме $1 \cdot 10^{-3}$ Па (PVD-технология). Содержание молибдена определяли рентгеноспектральным методом на приборе MAP-3. Структуру изучали методами просвечивающей электронной микроскопии на ПЭМ-100. Образцы получали при различных температурах подложек и скоростях осаждения компонентов. Особенностью бинарной системы Cu-Mo является отсутствие взаимной растворимости и химических соединений в равновесных условиях [1]. В массивном состоянии эти объекты, называемые псевдосплавами, получают порошковой металлургией [2] и используют в качестве электроконтактных, электродных и высокопрочных токопроводящих материалов [3].

Результаты и их обсуждение. На рис. 1, 2 представлены концентрационные зависимости условного размера зерна (L) медной матрицы псевдосплавов, полученных

при различных температурах подложки (T) и скоростях осаждения (V_k). Из представленных данных следует, что при всех технологических условиях получения резкое снижение величины L происходит при концентрациях молибдена менее одного атомного процента. Дальнейшее увеличение содержания молибдена не приводит к уменьшению размера зерна и зависимости $L - f(C)$ выходят на насыщение. Повышение температуры подложки при постоянной скорости конденсации приводит к увеличению минимально достигаемого размера зерна с 0,13 мкм до 0,18 мкм и уменьшению концентрации молибдена, соответствующего точке перегиба зависимости $L - f(C)$, с 0,55 ат. % до 0,37 ат. % (рис.1).

Скорость осаждения оказывает противоположное влияние. Ее снижение приводит к увеличению L_{min} с 0,18 мкм до 0,25 мкм и увеличению концентрации молибдена, соответствующего точке перегиба, с 0,37 ат. % до примерно 0,7 ат. % при $T_2 = \text{const}$ (рис.2).

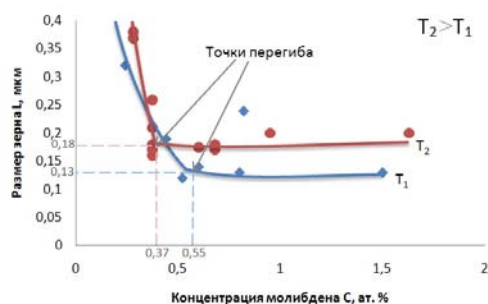


Рис.1 - Концентрационные зависимости размера зерна псевдосплавов Cu-Mo, полученных при температурах подложки T_1 и T_2 ($V_{k1} = \text{const}$)

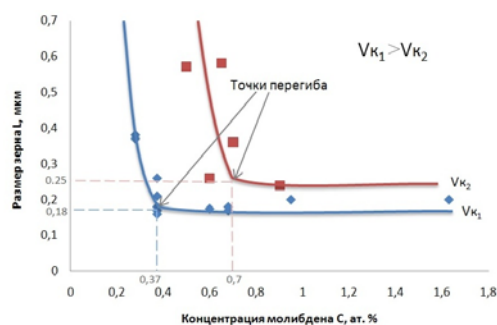


Рис.2 - Концентрационные зависимости размера зерна псевдосплавов Cu-Mo, полученных при разных скоростях осаждения – V_{k1} и V_{k2} ($T_2 = \text{const}$)

Эти результаты указывают, что максимальная эффективность диспергирования зеренной структуры конденсатов меди достигается при ее легировании молибденом до одного атомного процента. Варьирование температуры осаждения и скорости конденсации приводит к незначительному изменению величины зерна медной матрицы. Отметим, что размер зерна нелегированных конденсатов меди, полученных при температурах подложки T_1 и T_2 (скорость конденсации – V_{k2}), составляет 1,3 и 2,3 мкм соответственно.

Электронно-микроскопические изображения структуры псевдосплавов с концентрацией молибдена, соответствующей ниспадающей ветви зависимости $L - f(C)$ (рис.3), свидетельствуют об отсутствии частиц второй фазы в объеме медной матрицы. Отметим, что согласно данным работы [4] при этих концентрациях молибдена не наблюдается изменения периода кристаллической решетки медной матрицы, что указывает на отсутствие растворимости молибдена в ГЦК кристаллической решетке меди. Структура псевдосплавов с концентрацией молибдена, соответствующей горизонтальному участку концентрационной зависимости, является двухфазной (рис.4). При таких концентрациях молибдена период кристаллической

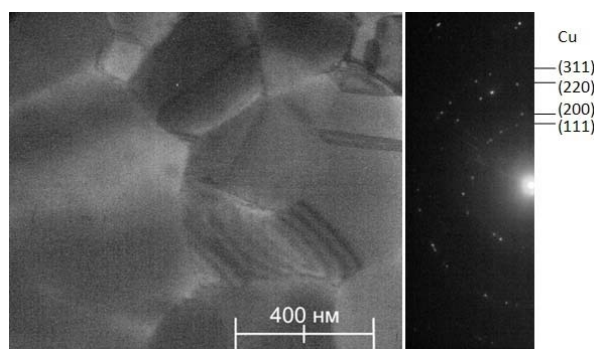


Рис.3 - Электронно-микроскопические изображения структуры псевдосплавов, соответствующие ниспадающей ветви зависимости $L - f(C)$

решетки меди имеет повышенное значение [4], указывающее на формирование аномальных пересыщенных растворов молибдена в кристаллической решетке меди.

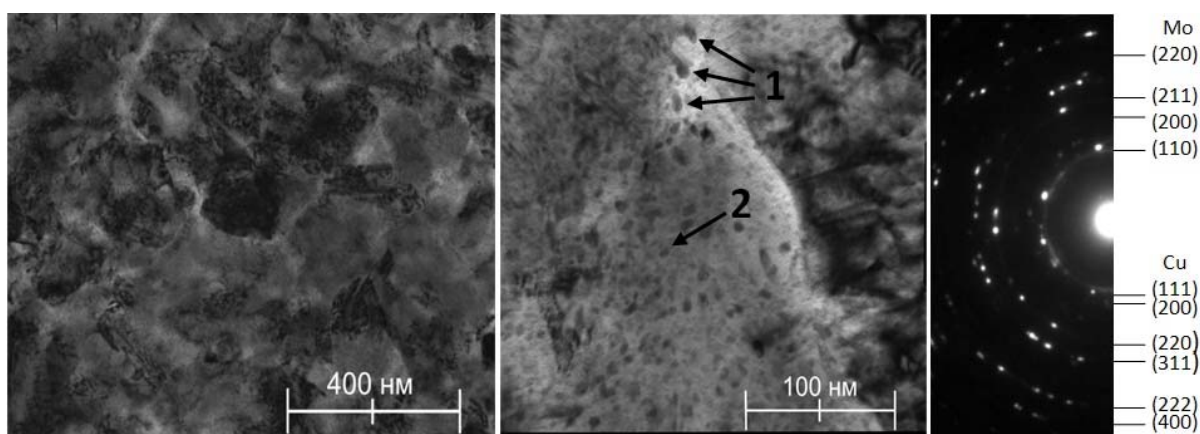


Рис.4 - Электронно-микроскопические изображения структуры псевдосплавов, соответствующие горизонтальному участку зависимости $L - f(C)$: 1 – частицы Mo на границах зерен меди, 2 – в объеме зерна

Таким образом, представленные результаты позволяют предположить, что в образцах с содержанием молибдена, которое соответствует ниспадающей ветви зависимости $L - f(C)$, весь молибден находится в границах зерен в виде сегрегаций. При большей его концентрации происходит формирование аномального раствора на основе меди и частиц ОЦК молибдена в объеме матрицы.

Следовательно, содержание молибдена в точках выхода зависимости на горизонтальный участок есть то его количество, которое достаточно для полного блокирования роста зерен медной матрицы при конденсации двухкомпонентного пара меди и молибдена. Расчет, проведенный по методике, предложенной в работе [5], показывает, что это количество атомов молибдена способно образовать 0,7 – 1,7 монослоя на поверхности растущих зерен меди в зависимости от используемых в работе температур и скоростей осаждения (рис.5). Эти результаты, а также данные работы [6], свидетельствующие о высоком значении теплоты адсорбции меди на молибдене, составляющей 1,4 ЭВ, дают основания предполагать, что сегрегации молибдена на поверхности растущих зерен меди образуются по механизму монослойной адсорбции [7].

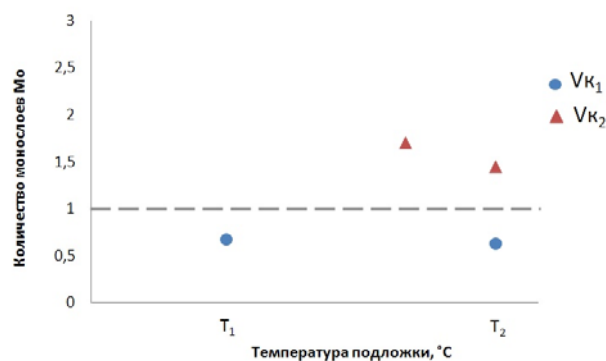


Рис. 5 -Количество молибдена, достаточное для блокирования роста зерен медной матрицы при конденсации двухкомпонентного пара Cu-Mo

Поверхностная активность атомов молибдена по отношению к меди, проявляющаяся при конденсации двухкомпонентного пара, приводящая к нарушению принципа А.А.Жуховицкого[8], связана, по-видимому, с отсутствием растворимости молибдена в кристаллической решетке меди в равновесных условиях. Отметим, что нарушение этого принципа наблюдается при межкристаллитной внутренней адсорбции примесей в сплавах металлургического происхождения [9].

Таким образом, при получении обогащенных медью псевдосплавов Cu-MoPVD-технологией молибден для меди, согласно концепции [9], является полезной примесью, позволяющей измельчать зеренную структуру медной матрицы до нано-и

субмикрометровой размерности и сохранять ее при последующем нагреве до высоких температур [10].

Заключение. Экспериментальные результаты, полученные в данной работе, и имеющиеся литературные данные свидетельствуют о том, что диспергирование зеренной структуры медной матрицы при конденсации обогащенного медью двухкомпонентного пара Cu-Mo обусловлено образованием сегрегаций молибдена на поверхности растущих зерен меди. Полное блокирование их роста происходит при содержании молибдена в псевдосплаве достаточном для формирования его атомами монослоя на их поверхности. Эти сегрегации повышают когезионную прочность и снижают поверхностную энергию границ зерен медной матрицы псевдосплавов, полученных PVD-технологией.

Список литературы: 1. Ерошенко И. Г. Диаграммы состояния металлических систем / И. Г. Ерошенко, А. М. Захаров, В. Г. Оленичева // вып. XXII. – М.: Металлургия, 1983. – 421 с. 2. Минакова Р. В. Электродные материалы для контактной точечной сварки. Пути повышения ее эффективности. / Р. В. Минакова, О. П. Василега, Г. Е. Копылова, Н. И. Гречанюк, А. А. Хрипливый, В. А. Аношин, В. М. Ильюшенко // Электрические контакты и электроды. Киев: Институт проблем материаловедения, 2008. – С. 1 – 7. 3. Аношин В. А. Жаропрочные материалы на основе меди. Способы получения. Свойства. Применение. / В. А. Аношин, В. М. Ильюшенко, Р. В. Минакова, О. И. Баньковский, О. П. Василега, Е. П. Шалунов, А. Л. Матросов // Электрические контакты и электроды. Киев: Институт проблем материаловедения, 2010. С. 212 – 219. 4. Зубков А. И. Структура и прочность нанофазных конденсатов Cu-Mo / А. И. Зубков, Ю. В. Панова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Збірник праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. 2011 №24. – С. 93 – 98. 5. Зубков А. И. О модифицирующем влиянии молибдена на вакуумные конденсаты меди / А. И. Зубков, А. А. Островерх // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Збірник праць, 2012. – С. 155-159. 6. Yee-Wen Yen, Yu-Lin Kuo, Jian-Yu Chen, Chiapung Lee, Chung-Yu Lee. Investigation of thermal stability of Mo thin-films as the buffer layer and various Cu metallization as interconnection materials for thin film transistor-liquid crystal display applications // Thin Solid Films Volume 515, Issue 18, 25 June 2007. – P. 7209-7216. 7. Зенгуил Э. Физика поверхности / Э. Зенгуил. – М.: Издательство Мир, 1990. – 530 с. 8. Жуховицкий А. А. Физическая химия / А. А. Жуховицкий, Л. А. Шварцман. – М.: Металлургия, 1964. 9. Гликман Е. Э. / Равновесная сегрегация на границах зерен и интеркристаллитная хладноломкость твердых растворов / Е. Э. Гликман, Р. Э. Брувер // Металлофизика, 42, 1972. – С. 42-63. 10. Зубков А. И. Термическая стабильность нанокомпозитов, кристаллизующихся в вакууме / А. И. Зубков // Вестник Тамбовского университета. – 2010. – Т. 15, № 3. – С. 846-848

Надійшла до редколегії 20.11.2012

УДК 669.187.001.2

Структура вакуумных псевдосплавов Cu-Mo. Влияние концентрации молибдена и условий конденсации / А. И. Зубков, М. А. Глущенко, А. А. Островерх // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. – № 66 (972). – С. 186-189 – Бібліогр.: 10 назв.

Досліджена структура конденсатів Cu-Mo, отриманих електронно-променевим випаровуванням компонентів з різних джерел і подальшою кристалізацією сумішей їх пари на неорієнтованих підкладках у вакуумі $\sim 1 \cdot 10^{-3}$ Па (PVD-технологія). Показано, що диспергування зеренної структури мідної матриці обумовлене утворенням сегрегаций молибдену на поверхні зростаючих зерен міді. Визначена кількість молибдену, яка повністю блокує зростання зерен мідної матриці.

Ключові слова: конденсація, вакуум, псевдосплав, сегregaція.

The problem under investigation is the structure of Cu-Mo runbacks that were got by cathode-ray evaporation of components from different sources and subsequent crystallization of mixtures of their steams on nonorienting substrates in a vacuum $\sim 1 \cdot 10^{-3}$ Pa (PVD-technology). It is shown that dispergating of the grain structure of copper matrix is caused by formation of molybdenum segregations on the surface of the growing copper grains. The amount of molybdenum that fully blocks the height of grains of copper matrix is determined.

Keywords: condensation, vacuum, pseudoalloy, segregation.

ЗМІСТ

Явтушенко А. В.	3
Силловые условия устойчивости ползуна кривошипного пресса с дополнительными направляющими	
Дудников И.А. , Канивец А.В. , Келемеш А.А., Семчук Г.И.	10
Вибрационные колебания в технологических процессах	
Гринь С.А., Филенко О.М., Телюк А.А.	14
Улучшение эксплуатационных характеристик куттеров путем создания новой конструкции ножей	
Тимофеева Л. А., Волошина Л .В.	20
Визначення технологічних параметрів процесу обробки в залежності від експлуатаційних властивостей покриття	
Зайцев В. Е., Брагин А. П., Полтарушников С. А., Ходько А. А.	23
Один из новых вариантов обеспечения энергетического цикла гидродинамической штамповки листовых деталей летательных аппаратов	
Пузырь Р. Г.	31
Применение многослойных металлов и особенности их пластической деформации	
Василенко В. О., Горностаев В. М., Кузьменко В. И., Плещенцов С. Ю.	34
Деякі підходи до вирішення задачі прямого видавлювання з уширенням, що враховують вплив тертя на кінцеве формоутворення та виникаюче навантаження	
Околович Г. А., Левков В. И., Петрова Е. В.	37
Пластическая деформация пружинных сталей при волочении	
Крутиков Г. А., Стрижак М. Г.	41
Определение области рационального использования электропневматического преобразователя	
Скворчевський О. Є.	46
Імітаційне моделювання процесу перемикання мехатронного модуля лінійного переміщення із режиму гідростопоріння в режим регулювання	
О. О.Фразе-Фразенко	52
Аналіз сплайн-методів з метою їх застосування для обробки контурів зображень	
Корчинский В. В.	63
Повышение скрытности передачи на основе псевдослучайной перестройки рабочей частоты и таймерных сигналов	
Невлюдов И. Ш., Евсеев В. В., Милютин С. С., Бортникова В. О.	67
Разработка графа параметрической зависимости для корпоративных информационных систем технологической подготовки производства на базе языков высокого уровня программирования	
Залкінд В. В., Косенко О. І.	73
Аналіз естетичних властивостей текстильних матеріалів в інформаційному просторі	
Дворецкий М. В., Ивановский Н. В.	76
Программный тренажер для изучения процесса циркуляции морского судна	
Сіконенко Г. М., Гасенко К. К.	81
Рационалізація поїздутворення на полігоні при застосуванні метаверистичних методів	
Лазуткін М. І.	85
Етапи компоновки підсистеми функціональних	
Лобойко В. О. Бутенко А. М., Юрченко Г. О.	91
Визначення кінетичних параметрів процесу термохімічного відновлення сполук іколу (II)	

Галстян А. Г.	93
Кінетика та продукти окиснення 3-амінотолуену озоном у рідкій фазі	
Денисенко О. В., Бубиніна Н. С.	98
Аналіз основних підходів до оцінки пропускної здатності вулично-дорожньої мережі	
Козуб П. А., Лобойко О. Я., Довбій Т. А., Резніченко А. М.,	105
Бондаренко Л. М., Лавренко А. О., Козуб С. М.	
Композиційний матеріал на основі металічного нікелю та гексагонального нітриду бору (HBN)	
Гринь С. А., Филенко О. Н., Поляшенко И. Г.	110
Влияние параметров перемешивания на стойкость маргариновой эмульсии	
Козій І. С., Гурець Л. Л., Будьоний О. П.	114
Моделювання розсіювання дрібнодисперсного пилу в атмосфері від стаціонарних джерел забруднення	
Макаренко Н. А.	118
Исследование эффективности применения комплексных органо-минеральных удобрений для уменьшения загрязнения почв тяжелыми металлами	
Щербань Г. И.	
Определение отношения плотностей электролита и расплава алюминия в электролизере	123
Пенкіна Н. М.	127
Накопичення контамінантів у анатомічних частинах овочевої сировини	
Литвиненко О. А.	130
Дослідження білкових продуктів із ядра насіння соняшнику	
Сокол Г. І., Каретнікова В. С., Демидов І. М.	134
Дослідження економічної ефективності вітчизняного виробництва харчових пар	
Петік І. П., Гладкий Ф. Ф., Петік П. Ф., Федякіна З. П., Бєлінська А. П.	138
Дослідження розчинності натрієвих солей жирних кислот в основі нейтралізуючого розчину, що містить етанол і гліцерин	
Шахмаев А. Е., Краснопольский Ю. М.	141
Получение липосомальных форм гидрофобных антиоксидантов	
Ягуп Е. В.	158
Моделирование переходных процессов в выпрямителе с индуктивно-емкостным фильтром	
Саблин О. И.	161
Определение составляющих полной мощности электроподвижного состава на основе общих уравнений электромагнитного поля	
Криворучко Я. С., Лерман Л. Б., Шкода Н. Г.	167
Багатокомпонентні гетерогенні системи: ефективна діелектрична проникність та поглинання	
Оленюк А.А.	173
Определение резонансной частоты эмп для воздействия на семена сферической формы	
Новікова А. О.	177
Вивчення використання нанотехнологій для зміни емоційного стану	
Голиков С. П., Просвирнина Э. В., Авдеев Б. А.	180
Кинетика очистки технических жидкостей в магнитных отстойниках	
Зубков А. И., Глущенко М. А., Островерх А. А.	186
Структура вакуумных псевдосплавов CU-MO. Влияние концентрации молибдена и условий конденсации	

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"**

Збірник наукових праць

Серія:

Нові рішення в сучасних технологіях

№ 66 (972)

Науковий редактор чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф. Є. І. Сокол

Технічний редактор Т.Л. Коворотний

Відповідальний за випуск: к. т. н. І. Б. Обухова

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул.. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».

Рада молодих учених і спеціалістів РМУС, тел.. (057)707-60-40, e-mail:

kovotima@gmail.com

Обл.-вид. № 179-12

Підп. до друку « 21» грудня 2012р. Формат 60х84/16. Надруковано на різнографі

Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 9,4. Облік.вид.арк. 10,0.

Наклад 300 прим. Зам. № 50. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію суб'єкта
видавничої справи ДК №3657 від 24.12.2009
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня "Технологічний Центр"
Свідоцтво про державну реєстрацію №1 480 120 0000 021055 від 02.04.2002
Адреса: 61145, м. Харків, вул. Шатилова дача,4
