

ВЕСТНИК НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

Сборник научных трудов

4'2010

Тематический выпуск "Новые решения в современных технологиях"

Издание основано Национальным техническим университетом «ХПИ» в 2001 году

Госиздание

Свидетельство Госкомитета по информационной политике

Украины КВ №5256 от 02.07.2001 г

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.Л.Товажнянский, д-р техн.наук, проф.

Координационный совет

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.

Л.М. Бесов, д-р техн. наук, проф.

Б.Т. Бойко, д-р техн. наук, проф.

Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.

В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.

И.Ф. Домнин, д-р техн. наук, проф.

Ю.И. Зайцев, к.т.н., проф.

В.В. Епифанов, д-р техн. наук, проф.

О.П. Качанов, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

С. И. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.

В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

Г.В. Лисачук, д-р техн. наук, проф.

В.С. Лупиков, д-р техн. наук, проф.

О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.

В.И. Николаенко, проф.

П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.

В.А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.

Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

Н.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ответственный редактор

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь

О.В. Саввова, канд. техн. наук

Г.И. Львов, д-р техн. наук, проф.

А.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.

И.В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.

Л.Г. Раскин, д-р техн. наук, проф.

В.Я. Заруба, д-р техн. наук, проф.

В.Я. Терзиян, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Узунян, д-р техн. наук, проф.

Л.Л. Брагина, д-р техн. наук, проф.

В.И. Шустиков, д-р техн. наук, проф.

В.И. Тошинский, д-р техн. наук, проф.

Р.Д. Сытник, д-р техн. наук, проф.

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

Б.В. Клименко, д-р техн. наук, проф.

Г.Г. Жемеров, д-р техн. наук, проф.

В.Т. Долбня, д-р техн. наук, проф.

Н.Н. Александров, д-р техн. наук, проф.

П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.

Н.И. Погорелов, канд. экон. наук, проф.

АДРЕС РЕДКОЛЛЕГИИ

61002, Харьков, ул. Фрунзе. 21 НТУ
«ХПИ», СМУС Тел. (057) 707-60-40

Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях.- Харків: НТУ «ХПІ» - 2010. - № 4 - 100с.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые выполнены преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, специалистов

У збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів

Друкується за рішенням Вченої ради НТУ „ХПІ”, Протокол №3 від 06.04.2010

Національний технічний університет «ХПІ» 2010

УДК 664.3:547

А.П. МЕЛЬНИК, докт. техн. наук, проф., НТУ “ХП”

В.Ю. ПАПЧЕНКО, м.н.с., НТУ “ХП”

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДЕРЖАННЯ АЗОТО-, КИСЕНЬВМІСНИХ ПО- ХІДНИХ ЖИРНИХ КИСЛОТ АМІДУВАННЯМ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ ДІЕТАНОЛАМІНОМ

Розглянуто реакцію взаємодії діетаноламіну і триацилгліцеринів соняшnikової олії при мольному відношенні реагентів 1:1 і температурах 433 К, 443 К, 453 К, 463 К і 473 К впродовж 3 – 5 годин. Досліджено зміни складу реакційної маси при взаємодії діетаноламіну і триацилгліцеринів соняшnikової олії з часом реакції.

The reaction of dietanolamine with triglycerides of sunflower oil under molar relation of reagents 1:1 and temperature 433 K, 443 K, 453 K and 463 K during three hours was examined. Changes of content of reactive mass obtained by reaction of dietanolamine and triglycerides of sunflower oil were investigated against time of the reaction.

Моно-, діацилгліцерини і діетаноламідни жирних кислот (ДЖК) широко використовуються у народному господарстві. ДЖК належать до числа важливих з широким застосуванням водорозчинних миючих засобів, які отримують у промисловості за двома технологіями: конденсацією жирних кислот з діетаноламіном (ДЕА) і конденсацією ефірів жирних кислот. Моно-, діацилгліцерини, які також виробляють за складними технологіями, використовують у виробництві харчових, медичних, косметичних та інших засобах. Раніше вивчено отримання алкілкарбонамідів і моноацилгліцеринів (МАГ) реакцією взаємодії моноетаноламіну з триацилгліцерином (ТАГ) соняшnikової олії [1, 2, 3]. А в [4] доказано, що в результаті такої реакції крім моноетаноламідів утворюються і МАГ з виходом 34 %. Утворення азото-, кисеньвмісних продуктів амідуванням олій ДЕА не відомо, а тому такі дослідження є актуальними, в зв'язку з тим, що в Україні відсутнє отримання таких поверхнево-активних речовин (ПАР) з відновлювальної сировини.

Мета роботи полягає в дослідженні змін компонентного складу реакційних мас, які отримано за реакцією амідування соняшnikової олії ДЕА.

В дослідженні використано рафіновану соняшnikову олію за ДСТУ 4492:2006 і ДЕА (99 % основної речовини; густина $d_{4}^{20} = 1,0966$).

Одержання реакційних мас здійснено, як в [5]. Реакційні маси одержано при мольному відношенні реагентів 1:1 в інтервалі температур 433 К – 473 К.

Кінетичні дослідження проведено згідно методики [5]. Протікання реакції охарактеризовано ступенем перетворення аміноазоту в амідний, який визначено за [5].

На основі експериментальних даних було отримано залежності швидкостей зникнення ДЕА від тривалості і температури реакції амідування (рис. 1).

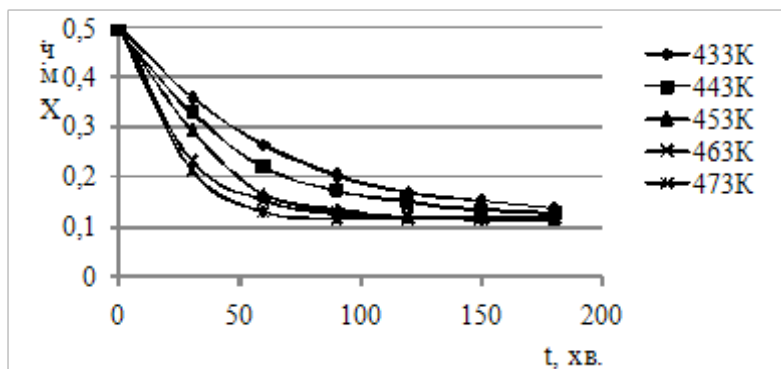


Рис. 1. Швидкість зникнення ДЕА (X) з часом (t) при взаємодії триацилгліцеринів соняшникової олії з ДЕА та різних температурах

Як видно з рис. 1, швидкість зникнення ДЕА зростає з підвищенням температури і на початку реакції у перші 90 хв. (практично удвічі) зменшується концентрація ДЕА, порівняно з наступним періодом (120 – 180 хв.), де швидкість реакції амідування стає постійною величиною і зростає з підвищенням температури до 473 К.

При подальшому збільшенні температури швидкість реакції практично не змінюється. Крім концентрації ДЕА в реакційних масах визначено концентрації паралельно утворених α -МАГ і гліцерину (Гл) методом періодатного окиснення [6, 7]. За цими даними, з використанням рівняння матеріального балансу, розраховано зміни вмісту інших компонентів реакційної маси з часом реакції: суми ТАГ з діацилгліцеридами (ДАГ), β -моноацилгліцеринів (β -МАГ), ДЖК. У таблиці представлено максимальний вихід компонентів реакційних мас від температури реакції, а на рис. 2 наведено деякі зміни концентрацій компонентів реакційних мас від часу реакції.

Таблиця

Зміни компонентного складу реакційних мас від температури реакції при мольному відношенні реагентів 1:1 і тривалості реакції 180 хв.

Компоненти реакційної маси	Концентрація компонентів реакційної маси (м.ч.) при температурі (К):				
	433	443	453	463	473
α -МАГ	0,1871	0,2066	0,2198	0,2287	0,2584
β -МАГ	0,0187	0,0206	0,0219	0,0228	0,0258
Гл	0,0721	0,0826	0,1066	0,1032	0,1030
ТАГ+ДАГ	0,2173	0,1949	0,1498	0,1403	0,1079
ДЕА	0,1365	0,1260	0,1167	0,1161	0,1139
ДЖК	0,3683	0,3692	0,3852	0,3889	0,3909

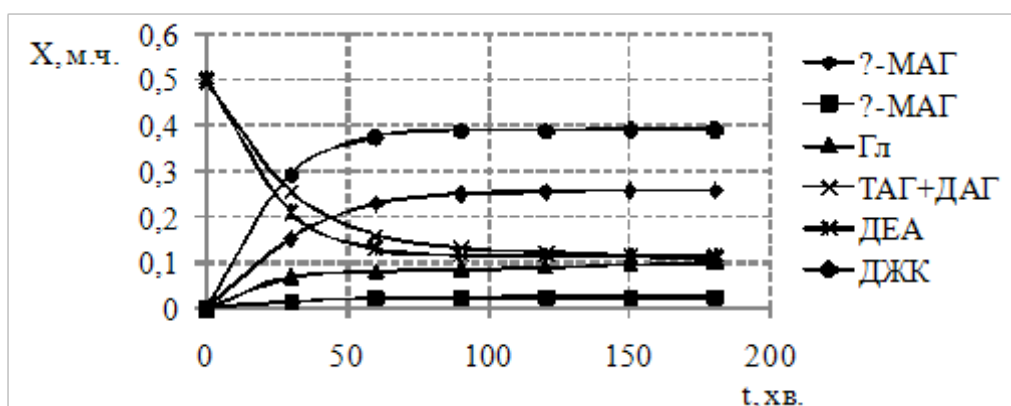


Рис. 2. Залежності змін концентрацій компонентів реакційних мас від часу реакції при температурі 473 К

З рис. 2 видно, що концентрація ДЕА швидко (практично удвічі) зменшується впродовж перших 50 хв. А через 180 хв. концентрація ДЕА досягає 0,11 м.ч. порівняно з початковою концентрацією 0,5 м.ч. Концентрація α -МАГ різко збільшується і через 90 хв. досягає 0,25 м.ч. З збільшенням часу реакції концентрація МАГ практично не змінюється і через 180 хв. досягає 0,258 м.ч. Крім МАГ в результаті реакції також утворюється гліцерин, залежність концентрації якого від часу має форму схожу з залежністю змін концентрації МАГ. Концентрація Гл на початку реакції також різко збільшується, але при подальшому протіканні реакції його концентрація майже не змінюється. Максимальна досягнута концентрація гліцерину складає 0,1 м.ч. за 180 хв. Визначення умов утворення максимуму концентрації продуктів реакції проведено за оцінкою величини ступеня утворення (СУ) продуктів реакцій, який, в свою чергу, розраховано як відношення поточної концентрації до максимуму концентрації продуктів реакції за рівняннями хімізму амідування ТАГ ДЕА.

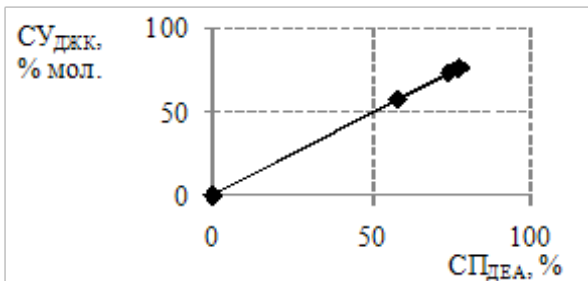


Рис. 3. Залежність ступеня утворення ДЖК від ступеня перетворення ДЕА при температурі реакції 473 К від часу реакції

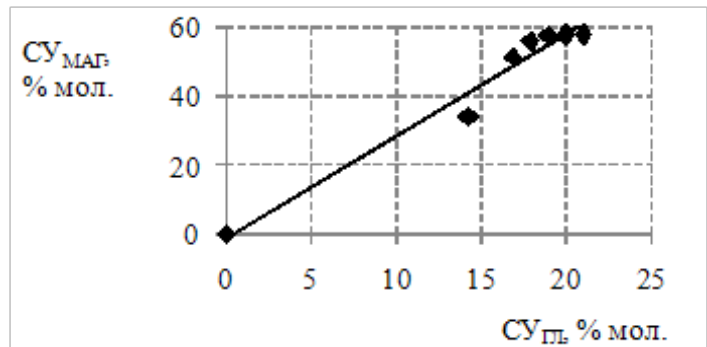


Рис. 4. Залежність ступеня утворення МАГ від ступеня утворення Гл при температурі реакції 473 К від часу реакції

За рис. 3 встановлено, що залежності величин СУ ДЖК від СП ДЕА, % мол. описуються рівняннями прямої з кутами нахилу 45° , що свідчить про те, що ДЕА витрачається на утворення тільки ДЖК. Що вказує на відсутність побічних реакцій. З рис. 4 видно, що відхилення експериментальної залежності від 45° досягають 10° , тобто 78 % мол. МАГ реагує з ДЕА.

Компонентний склад реакційних мас підтверджено хроматографією на тонкому шарі продуктів реакції, приклад якої наведено на рис. 5.

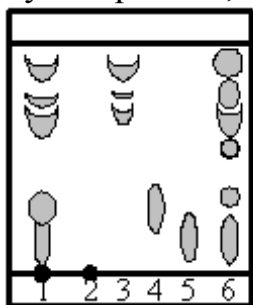


Рис. 5. Тонкошарові хроматограми, де 1 – реакційна суміш; 2 – Гл; 3 – соняшни-

Хроматографія реакційних мас проведена на сілікагелевих пластинах *Silufol*, суміш розчинників – хлороформ : ацетон : етиловий спирт. F поділ компонентів суміші обумовлений відмінністю сорбуємості компонентів. Підтверджено, що до складу реакційної суміші входять ТАГ, ДАГ, МАГ, ДЖК та Гл. Встановлено, що α -

кова олія і ДАГ; 4 – МАГ; 5 – етанола- МАГ має коефіцієнт сорбуємості (R_f)
мід; 6 – літературні дані [8] 0,40; 1,2-ДАГ – 0,66; 1,3-ДАГ – 0,76;
ТАГ – 0,912; ДЕАд – 0,13, значення яких співпадають з відомими літературними
даними [8].

Висновки:

1. В результаті проведеної роботи методом періодатного окиснення встановлено, що при амідуванні соняшникової олії ДЕА в досліджених умовах протікає ряд реакцій, які зумовлюють утворення не тільки азотопохідних жирних кислот, але і таких кисеньвмісних продуктів як моноацилгліцерини, діацилгліцерини, гліцерин. 2. Хроматографічними дослідженнями підтверджено, що до складу реакційних мас входять, крім вихідних реагентів, ДАГ, МАГ, ДЕАд, Гл. 3. Дослідженнями зміни концентрацій ДЕА, ДЖК, МАГ і Гл з часом реакції при взаємодії соняшникової олії з ДЕА знайдено температуру і тривалість при яких досягнуто максимальні концентрації утворюваних компонентів. 4. Встановлено, що основні перетворення протікають впродовж 90 хвилин після чого компонентний склад майже не змінюється.

Список літератури: 1. Мельник А.П., Матвєєва Т.В. Дослідження кінетики утворення похідних алкілкарбонамідів із жирів // Вестник ХГПУ – Харків: ХГПУ, 1999. – № 33. – С. 46-48. 2. Мельник А.П., Матвєєва Т.В. До питання дослідження кінетики утворення похідних алкілкарбонамідів із жирів // Вестник ХГПУ – Харків: ХГПУ, 1999. – № 90. – С. 66-68. 3. Мельник А.П., Матвєєва Т.В., Папченко В.Ю. Отримання моно-, діацилгліцеридів з триацилгліцеридів соняшникової олії // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – № 41. – С. 56-60. 4. Матвєєва Т.В. Технологія отримання моноацилгліцеринів амідуванням соняшникової олії / Дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук. – Харків, 2005. 5. Мельник А.П., Папченко В.Ю., Матвєєва Т.В., Діхтенко К.М., Жуган О.А. Дослідження реакції утворення алкілкарбон-N-(дігідроксіетил)амідів // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” – Харків: НТУ “ХПІ”, 2003. – № 11. – С. 64-69. 6. *Руководство по методам исследования, технологическому контролю и учёту производства в масложировой промышленности* // Под. ред. Ржехина В.П., Сергеева А.Г., Т. III. – Л.: НПО “Масложирпром”, 1964. – 408 с. 7. AJOCS OFFICIAL METHOD Cd11-57 α -Monoglycerides. 8. Heineck A.E., Bergseth. Glycerolysis of linseed oil: F compositional study // JAACS. – 1969. № 9. – S. 447-451.

Поступила до редколегії 29.10.2009

УДК 665.112.1

А.П.БЄЛІНСЬКА, аспірант, НТУ «ХПІ»

ВПЛИВ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НА СТІЙКІСТЬ ДО ОКИСНЕННЯ ОЛІЙНОГО РОЗЧИНУ β -КАРОТИНУ

Розглянуто питання нестабільності олійних розчинів β -каротину при дії чинників, що обумовлюють їх окислювальне псування. Обрані чинники, від яких залежить стабільність до окислення олійних розчинів β -каротину. Встановлена кількісна залежність (у вигляді регресійної моделі) періоду індукції олійних розчинів β -каротину, а значить і їх термінів зберігання від взаємного впливу фізико-хімічних показників (пероксидне число, вміст вологи, вміст токоферолу), які визначають стабільність олійних розчинів β -каротину до окиснення.

The question of instability of oily solutions of β -carotene is considered at the action of *factors*, stipulated oxidizing spoilage. The choice of factors on *which stability depends* to oxidization of oily solutions of β -carotene is made. Quantitative dependence (as a regressive model) of period of induction of oily solutions of β -carotene is set, and their shelf-lives from a cross-coupling some his physical and chemical indexes.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Вміст β -каротину в раціоні харчування є одним з найважливіших факторів нормального функціонування більшості систем організму людини [1]. Для подолання проблеми нестачі β -каротину в раціонах харчування в рамках Концепції поліпшення продовольчого забезпечення та якості харчування населення актуальним є включення до продуктів масового споживання каротин природного походження [2]. На Україні організовано промисловий випуск мікробіологічного β -каротину у вигляді олійного екстракту біомаси гетероталічного гриба *Blakeslea trispora* - найбільш активного його продуценту - „Бета-каротин мікробіологічний в олії” виробництва ТОВ „НВП „Вітан”. Даний препарат є рідиною від помаранчевого до червоного кольору, який містить 2,0 мг/г β -каротину та зберігається при температурі не більше за 20°C протягом 12 місяців у полімерних світлонепроникних флаконах. *Але присутність великої кількості сполучених подвійних зв'язків у молекулі сприяє тому, що β -каротин дуже чутливий до кисню, високих температур та освітлення.* На теперішній час не знайдено рівняння, яке б описувало залежність періоду індукції процесу окиснення (а значить і терміну зберігання) олійних розчинів β -каротину від взаємного впливу факторів, що впливають на цей процес. За відомим рівнянням $\tau = f \cdot n \cdot [\text{InH}]_0 \cdot V_i$, (де τ – період індукції – час, упродовж якого обрив ланцюгів здійснюється на молекулах інгібітору, $[\text{InH}]_0$ – концентрація інгібітору, f – коефіцієнт інгібування – кількість вільних радикалів, що „гинуть” на одній молекулі інгібітору; n – кількість активних груп в молекулі інгібітору) складно розрахувати період індукції з урахуванням усіх факторів, що впливають на окислювальний процес, тому що швидкість ініціювання (V_i) залежить від наступних параметрів: жирнокислотного складу олії, в якій розчинений β -каротин, умов окиснення (вважається, що підвищення температури на 10⁰ C збільшує швидкість окиснення у 2–3 і більше рази), вмісту вологи, кислотного та пероксидного чисел олії, в якій розчинено каротин, природних про- та антиоксидантів тощо.

Мета дослідження - встановити кількісну залежність терміну зберігання олійних розчинів β -каротину від взаємного впливу їх фізико-хімічних показників.

Виклад основного матеріалу дослідження. На підставі літературного огляду були обрані тільки найбільш впливові фактори. Для оцінки стабільності олійних розчинів β -каротину до окиснення було проведено дослідження взаємного впливу таких фізико-хімічних показників, як: пероксидне число, вміст β -каротину вміст вологи, кислотне число, вміст природного антиоксиданту на період індукції, який пропорційний терміну зберігання олійного розчину β -каротину. Вивчення залежності стабільності олійних розчинів β -каротину від взаємного впливу перелічених показників можна віднести до типу задач «склад – властивість». Статистичні методи планування експерименту дозволяють значно інтенсифікувати працю дослідника, зменшити строки і витрати на експеримент, підвищити достовірність висновків за результатами дослідження. Саме тому для вивчення впливу

факторів на стійкість олійних розчинів β -каротину до окиснення слід створити математичну модель цього процесу.

План дробового факторного експерименту з зірковими точками (ортогональний план другого порядку) наведено у таблиці 1 [3]. Попередні дослідження показали, що деякі рівняння, які отримані за планами менших порядків неадекватно описують поверхні відгуку. Фактори, що варіювались при створенні моделі: пероксидне число (x_1), вміст β -каротину (x_2), вміст вологи (x_3), вміст природного антиоксиданту (токоферолу) (x_4).

Таблиця 1. - План експерименту для розрахунку математичної моделі, яка описує вплив різних факторів на стійкість до окиснення олійних розчинів β -каротину.

№	X_0		Пероксидне число, x_1		Вміст β -каротину, x_2		Вміст вологи, x_3		Вміст природного антиоксиданту (токоферолу), x_4		Період індукції, у, хв.
			умов.	$\frac{1}{2}O$ ммол ь/кг	умов.	%	умов.	%	умов.	мг%	
1	+1	-1	3,5	-1	0,11	-1	0,1	-1	0,8	93	
2	+1	+1	8,5	-1	0,11	-1	0,1	+1	1,36	29	
3	+1	-1	3,5	+1	0,19	-1	0,1	+1	1,36	162	
4	+1	+1	8,5	+1	0,19	-1	0,1	-1	0,8	15	
5	+1	-1	3,5	-1	0,11	+1	0,3	+1	1,36	105	
6	+1	+1	8,5	-1	0,11	+1	0,3	-1	0,8	8	
7	+1	-1	3,5	+1	0,19	+1	0,3	-1	0,8	60	
8	+1	+1	8,5	+1	0,19	+1	0,3	+1	1,36	21	
9	+1	+1,414	9,6	0	0,15	0	0,2	0	1,08	17	
10	+1	-1,414	2,5	0	0,15	0	0,2	0	1,08	134	
11	+1	0	6,0	+1,414	0,21	0	0,2	0	1,08	28	
12	+1	0	6,0	-1,414	0,09	0	0,2	0	1,08	33	
13	+1	0	6,0	0	0,15	+1,414	0,34	0	1,08	22	
14	+1	0	6,0	0	0,15	-1,414	0,06	0	1,08	37	
15	+1	0	6,0	0	0,15	0	0,2	+1,414	1,48	47	
16	+1	0	6,0	0	0,15	0	0,2	-1,414	0,68	16	
17	+1	0	6,0	0	0,15	0	0,2	0	1,08	31	

Функцією відгуку був період індукції, який визначали графічно за кінетичними кривими окислювання олійних розчинів β -каротину за методом прискореного окислювання [4]. Даний метод заснований на окислюванні олійного розчину при температурі 85 °С шляхом його безперервного барботування повітрям. Глибину окислювання встановлювали за пероксидними числами у пробах, що відбирали періодично через 30 хвилин. Основний рівень x_0^j та інтервали варіювання Δx змінних експерименту наведені у таблиці 2.

Таблиця 2. - Основний рівень та інтервали варіювання змінних у плані експерименту.

Основний рівень, x_0^j	Фактори
--------------------------	---------

		$x_1, \frac{1}{2}O$ ммоль /кг	$x_2, \%$	$x_3, \%$	$x_4, \text{мг}\%$
		6,00	0,15	0,20	1,08
Інтервали ва- ріювання, Δx	2,50	0,05	0,10	0,28	

Для можливості статистичної обробки усі досліди проведені у трьох паралел-
лях [5]. Дисперсію відтворення визначали по 4 додатковим дослідом в довільній
точці. Гіпотеза про адекватність рівняння приймалась за умов, що отримане екс-
периментально значення коефіцієнту Фішера менше за табличне.

Перевірка значущості коефіцієнтів за критерієм Ст'юдента показала, що в
рівнянні регресії, що описує залежність періоду індукції від факторів, що вплива-
ють на стабільність олійних розчинів β -каротину до окиснення (рівняння 3.8), ко-
ефіцієнт b_2 не є значимим. Таким чином, рівняння регресії в безрозмірному виді
приймає вигляд:

$$Y(x_1, x_2, x_3) = 26,7 - 40,1x_1 - 4,366x_3 + 12,13x_4 + 26,2x_1^2 + 3,439x_3^2 - 3,494x_4^2 \quad (1)$$

Перевірка за критерієм Фішера показала, що отримане рівняння є адекват-
ним експерименту. Розрахунки рівняння регресії, що наведено нижче виконані з
використанням програмного пакету MathCad.

Отримане рівняння реальними змінними має наступний вигляд:

$$Y(x_1, x_2, x_3) = 287,1 - 66,338x_1 - 181,23x_3 + 1,8606x_4 + 4,1914(x_1)^2 + 343,94(x_3)^2 - 6,1556(x_4)^2 \quad (2)$$

У таблиці 3 наведені дані для перерахунку терміну зберігання олійних рочи-
нів β -каротину в залежності від його періоду індукції.

Таблиця 3. Термін зберігання олійних розчинів β -каротину

Температура зберіган- ня, $^{\circ}C$	Період індукції, хв. не менше ніж	Термін зберігання, міс.
Від мінус 20 до 0	70	12
	50	6
	40	3
	35	1,5
Понад 1 до 4 включ.	70	6
	50	3
	40	1,5
Понад 4 до 10 включ.	70	4,5
	50	2
	40	1
Понад 10 до 15 включ.	70	3
	50	1

Примітка. У випадку одержання проміжних значень періоду індукції, засто-
совується метод лінійної інтерполяції.

На рисунку 1 показана одна з трьох отриманих поверхонь залежності періоду індукції від пероксидного числа і масової долі β -каротину (при фіксованому вмісті токоферолу, що дорівнює 1,08 мг%).

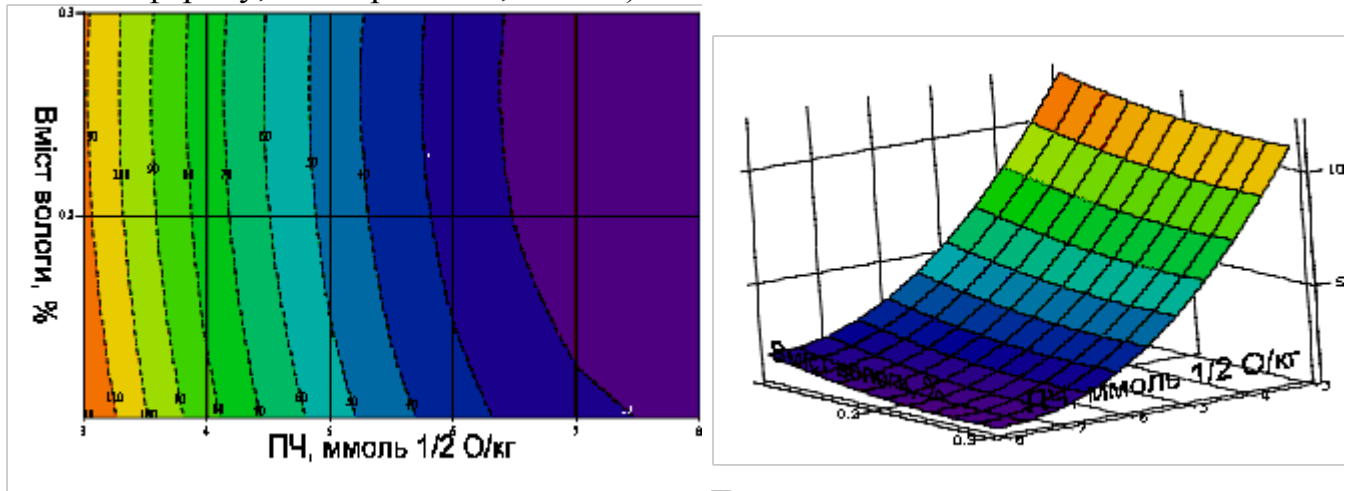


Рис.1. Залежність періоду індукції олійних розчинів β -каротину від пероксидного числа і вмісту вологи.

Як видно з рисунку 1, на поверхні відгуку (при фіксованому третьому фактору – вмісті токоферолу 1,08 мг%) область мінімуму відповідає значенню пероксидного числа 6,5 - 8,1 $\frac{1}{2}$ O ммоль/кг і значенню вмісту вологи 0,22-0,30% (період індукції олійного розчину β -каротину дорівнює 20хв., отже очікуваний термін зберігання при температурі «Від мінус 20 до 0» становить 6,5 місяців). На поверхні відгуку точка максимуму відповідає значенню пероксидного числа 3,0 $\frac{1}{2}$ O ммоль /кг і значенню вмісту вологи 0,1% (період індукції дорівнює 110 хв., отже очікуваний термін зберігання за температури «Від мінус 20 до 0» складе 10 місяців).

Висновки. Встановлена кількісна залежність (у вигляді регресійної моделі) періоду індукції олійних розчинів β -каротину, а значить і їх терміну зберігання від взаємного впливу фізико-хімічних показників (пероксидне число, вміст вологи, вміст токоферолу), які визначають стабільність олійних розчинів β -каротину до окиснення. Дану регресійну модель доцільно використовувати при розрахунку, а також коригуванні термінів збереження олійних розчинів β -каротину на підприємствах, які застосовують β -каротин у виробництві продукції.

Список літератури: 1. Смоляр В.І. Основні тенденції в харчуванні населення України [Текст] / В.І. Смоляр // Проблеми харчування. – 2007. - № 4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <<http://www.medved.kiev.ua>>. 2. Про затвердження „Концепції поліпшення продовольчого забезпечення та якості харчування населення” [Текст]: розпорядження Кабінету Міністрів України №332-р: [прийняте 26.05.2004]. 3. Бондарь А.Г., Статюха Г.А. Планирование эксперимента в химической технологии. К.: Вища школа, 1976 - 184 с. 4. Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / под ред. В.П. Ржехина, А.Г. Сергеева. – Том V. – Ленинград, 1969г. – 502с. 5. Дёрффель К. Статистика в аналитической химии: Пер. с нем.- М.: Мир, 1994.-268 с.

Поступила до редколегії 29.10.2009

УДК 667.637.4

М.М. ГИВЛЮД, докт. техн. наук, професор,

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

І.В., ЄМЧЕНКО, канд. техн. наук, Львівська комерційна академія

О.І. ПЕРЕДРІЙ, викладач, Луцький національний технічний університет

О.Я. ПІТАК, канд. техн. наук, доц., НТУ „ХПІ”

ВПЛИВ КАОЛІНОВОГО ВОЛОКНА НА ВЛАСТИВОСТІ ОКСИДНО-СИЛІКАТНИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ, ОДЕРЖАНИХ НА ОСНОВІ ПОЛІАЛЮМОСИЛОКСАНОВОЇ ЗВ'ЯЗКИ

Досліджено вплив складу захисних високотемпературних та вогнестійких покриттів для конструкційних матеріалів, одержаних на основі наповнених оксидами силіційорганічних сполук при нагріванні на захисні властивості

Investigation of influence composition of the high temperature and fireproof sheeting for construction materials, got on the basis of gap-filling the oxides of silicium organic compounds at heating on protective properties

Постановка проблеми. Металеві, бетонні та конструкційні матеріали на основі сплавів, які працюють в умовах високотемпературного нагрівання, з часом втрачають свої експлуатаційні властивості та руйнуються. Розширити температурний інтервал їх використання можливо шляхом ізоляції поверхні захисними покриттями оксидно-силікатного виду за рахунок високої термостабільності фазового складу.

Ефективність захисної дії таких покриттів до вказаних підкладок визначається складом вихідних композицій, умовами нагрівання, максимальною температурою експлуатації та процесами формування адгезійного контакту на межі розділу (контакту). Особливо надійними є покриття із стабільним фазовим складом у широкому інтервалі температур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перспективними матеріалами для одержання захисних покриттів можуть бути наповнені оксидними та силікатними сполуками поліорганосилоксани. Їх застосування як високотемпературні захисні покриття зумовлено тим, що оксидно-силікатні композиційні матеріали не окиснюються, мають постійний фазовий склад, є вогнестійким, тому їх доцільно використовувати для захисту конструкційних матеріалів, які працюють в умовах нагрівання [1, 2].

Розроблені матеріали відзначаються не тільки високою температуро- і вогнестійкістю, технологічністю, здатністю затверджуватися при кімнатній температурі, але і формувати захисний шар у процесі нагрівання [3, 4].

Проте, такі покриття у процесі нагрівання внаслідок термічної або термоокисної деструкції поліорганосилоксанової зв'язки у температурному інтервалі

773...1173 К частково втрачають свою захисну функцію за рахунок значного зростання пористості [5]. Частково зменшити показник пористості покриття можливо шляхом уведення до складу вихідної композиції легкоплавких додатків, але при цьому суттєво знижується високотемпературна стійкість [6].

Мета роботи полягає у вивченні впливу каолінового волокна на захисні властивості наповнених покриттів, одержаних із поліалюмосилоксанових композицій.

Об'єкти і методи досліджень. Матеріалами досліджень для одержання вихідних складів захисних покриттів обрано в якості зв'язки – силіційелементорганічний лак КО-978 (поліалюмосилоксан), наповнювача – алюміній і цирконій (IV) оксиди та каолінове волокно. Дослідження проводили з використанням відомих методів фізико-хімічного аналізу (рентгенофазовий, електронномікроскопічний, ІЧ-спектроскопічний), а експлуатаційні властивості визначались згідно вимог існуючих стандартів.

Результати досліджень. Вихідні склади для захисних покриттів вибирали із умови отримання максимального вмісту високотемпературних і вогнестійких силікатів алюмінію та цирконію, мінімального вмісту силіцію оксиду і сумісністю компонентів. Найбільш доцільно одержувати композиції для захисних покриттів методом сумісного диспергування наповнювача у середовищі поліалюмосилоксану. При цьому каолінове волокно необхідно розрізати до величини не більше 5 мм.

Методом ІЧ-спектроскопії встановлено, що у процесі механохімічного оброблення компонентів у кульових млинах спостерігається суттєва зміна інтенсивності смуг поглинання компонентів, що дає підстави стверджувати про часткове руйнування кристалічної ґратки наповнювача, але і прививання до нього розірваних ланцюгів поліалюмосилоксану. Згідно даних комплексного термічного аналізу маса привитого поліалюмосилоксану становить 4,2...5,7 мас.%, що створює умови для одержання седиментаційностійких вихідних композицій для захисних покриттів. Текучість вихідної композиції знаходиться у межах 20...24 с за віскозиметром ВЗ-4.

Покриття товщиною 0,3...0,4 мм наносили на попередньо очищені вихідні матеріали методом пульверизації або занурення. Дослідженнями встановлено, що найбільш раціонально покриття наносити пошарово товщиною до 0,15 мм після затвердіння попереднього шару.

За допомогою фізико-хімічних методів аналізу досліджено вплив нагрівання на процеси формування захисного покриття. Згідно із даними комплексного термічного аналізу (рис. 1) у покритті складу поліалюмосилоксан- Al_2O_3 - ZrO_2 -каолінове волокно зафіксовано 5 екзоефектів з максимумами при температурі 812, 895, 1040, 1378 і 1512 К.

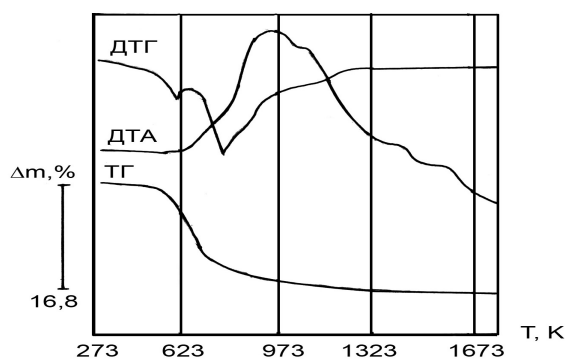


Рис. 1 Комплексний термічний аналіз наповненого Al_2O_3 і ZrO_2 поліалюмосилоксану з додатком 5 мас.% каолінового волокна.

Перші екзо ефекти відносяться до процесів термоокисної деструкції поліалюмосилоксанової зв'язки, а наступні - до утворення у складі покриття мулітової та цирконової фаз.

Отже, уведення до складу покриття каолінового волокна каталізує процес термоокисної деструкції поліалюмосилоксану та синтезу муліту і циркону, про що свідчить зміщення екзо ефектів у бік нижчих температур відповідно на 10-15 і 11-15 град на кривих ДТА.

Одержані результати підтверджуються рентгенофазовими та ІЧ-спектроскопічними дослідженнями. Необхідно відзначити, що при нагріванні захисних покриттів на основі вказаних композицій мулітова фаза починає утворюватися при нагріванні вище від 1040 К із продуктів термоокисної деструкції поліалюмосилоксану. Тому, використання як зв'язки поліалюмосилоксану частково підвищує експлуатаційні властивості захисних покриттів за рахунок утворення у його складі голчастих кристалів муліта, армуючого силіційкисневий каркас.

Електронномікроскопічним аналізом встановлено, що структура покриття при нагріванні до температури 1573 К змінюється від наповненої полімерної до оксидної і далі до оксидно-силікатної. Особливо низькі показники експлуатаційних властивостей виявляють захисні покриття оксидного складу в інтервалі температур 873...1173 К. Зміна структури покриття суттєво впливає на його суцільність, пористість та адгезійні властивості, які є одними із основних показників захисної дії.

Значення суцільності покриття пов'язане з його пористістю. Нами встановлено, що уведення 5...10 мас.% каолінового волокна до складу захисного покриття на показник відкритої пористості суттєво не впливає (рис. 2).

Зменшення показника відкритої пористості на 2...3 % у температурному інтервалі термоокисної деструкції, і на 5...7 % за температури нагрівання вище від 1473 К можна віднести до похибки визначення або її залежності від товщини покриття.

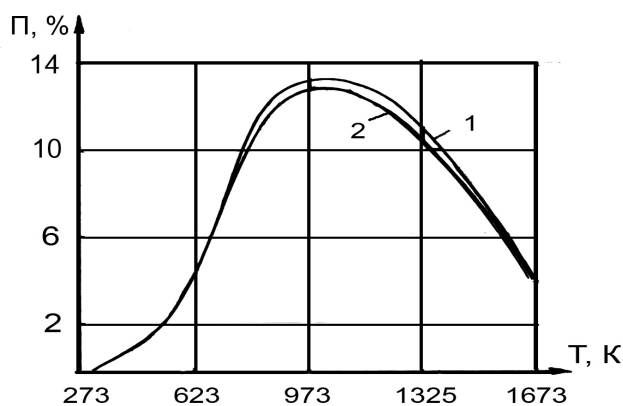


Рис. 2 Зміна відкритої пористості покриття на основі наповненого Al_2O_3 і ZrO_2 поліалюмосилоксану (1) та з додатком 5 мас.% каолінового волокна (2)

Особливий інтерес викликає вплив каолінового волокна на адгезійну міцність покриття у процесі нагрівання та його захисні властивості. Суттєвий вплив на адгезію має стан і ступінь оброблення поверхні, склад покриття, фізико-хімічні процеси, які проходять при нагріванні, наявність перехідного шару між покриттям та підкладкою та величина внутрішніх напружень внаслідок різниці ТКЛР.

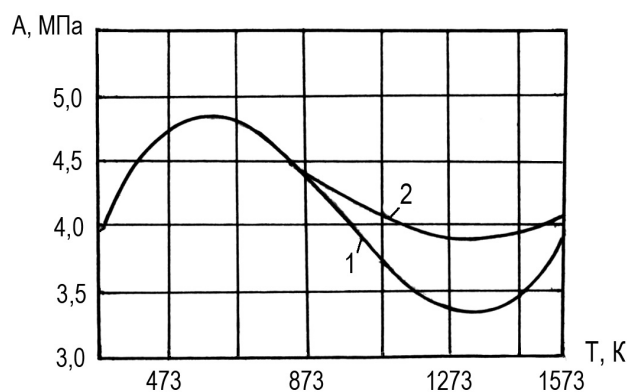


Рис. 3. Температурна залежність адгезійної міцності захисного покриття до Ст.5 на основі наповненого Al_2O_3 і ZrO_2 поліалюмосилоксану (1) та з додатком 5 мас.% каолінового волокна (2)

Встановлено (рис. 3), що залежність адгезійної міцності захисних покриттів від температури для Ст.5 на основі поліалюмосилоксану, наповненого алюміній і цирконій (IV) оксидами та каоліновим волокном має екстремальний характер з максимумом 4,85 МПа при температурі 573 К та мінімумом 3,95 МПа при 1373 К.

Як видно з рис. 3, уведення до складу покриття на основі системи поліалюмосилоксан- Al_2O_3 - ZrO_2 5...10 мас.% каолінового волокна збільшує адгезійну міцність у температурному інтервалі 873...1573 К на 5...15 % внаслідок його армування каоліновими волокнами.

Використання розроблених складів захисних покриттів для конструкційних матеріалів, які працюють в умовах високотемпературного нагрівання та дії вогню збільшує їх довговічність у 1,5...3,5 рази залежно від температури, при достатньо високому значенні суцільності (до 96%) і адгезійної міцності (до 3,95 МПа).

Висновки. Проведеними дослідженнями показана принципова можливість одержання захисних покриттів для конструкційних матеріалів на основі наповнених алюміній і цирконій (IV) оксидами та каоліновим волокном поліалюмосилоксанів, які працюють в умовах високих температур та дії вогню.

Список літератури: 1. *Аппен А.А.* Температуроустойчивые неорганические покрытия.-Л.: Химия.-1976.-295 с. 2. *Свидерский В.А., Ткач Н.А.* Высокотемпературные кремнийорганические полифункциональные покрытия // Температуроустойчивые функциональные покрытия.- Тула, 2001.-С. 60-64. 3. *Гивлюд М.М., Свідерський В.А., Федунь Б.В.* Жаростійкі антикорозійні захисні покриття для конструкційних матеріалів // Фізико-хімічна механіка матеріалів.-Львів, 1996.- С. 182-184 4. *Ємченко І.В.* Підвищення високотемпературної довговічності конструкційних матеріалів із захисними покриттями на основі наповнених силіційелементоорганічних лаків / І. В. Ємченко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2007. – № 6 (56). – С. 71-74 5. *Гивлюд М. М.* Захисні високотемпературні покриття на основі наповнених поліалюмосилоксанів / М. М. Гивлюд, І. В. Ємченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія».- Харків : НТУ «ХПІ», 2007. – № 32. – С. 138-148. 6. *Ємченко І. В.* Вплив каоліну на технологічні властивості та структуру наповнених силіційорганічних покриттів / І. В. Ємченко, М. М. Гивлюд // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск : УГХТУ, 2008. – № 3. – С. 97-98.

Поступила до редколегії 29.10.2009

УДК 622.691

А.П. МЕЛЬНИК, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»

С.Г. МАЛІК, інженер, НТУ «ХПІ»

ПАЛИВО З ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ СИРОВИНИ

Розглянуто перспективи використання і запропоновано технологічну схему одержання біогазу з використанням відходів.

Perspective usage and technological scheme of biogas production with use of waste products have been observed.

Раніше [1] розглянуто перспективи одержання паливного газу з вітчизняної сировини за хімічними технологіями. Разом з тим відомо [2], що крім природного газу, нафти та вугілля паливо можна одержувати з різних органічних продуктів у вигляді біогазу, який утворюється при анаеробному бродінні органічних речовин у присутності бактерій класу метаногенів. Хіміком Х. Деві вперше в біомасі, яка розкладається, знайдено метан. Крім метану до складу біогазу можуть входити двоокис вуглецю, сірководень, аміак, що залежить від вихідного компонентного складу сировини. При відсутності в сировині сірко-азотовмісних компонентів, до складу біогазу входить 55-75 % об. метану, 25-45 % об. двоокису вуглецю з домішками сірководню та водню. Теплотвірна здатність 1 м³ такого газу досягає 20-75 МДж/м³ [3], що еквівалентно 1,4 кВт електроенергії, 0,6 л бензину, 0,85 л етанолу чи 1,7 кг деревини. В оптимальних умовах з 1 м³ реакційного об'єму одержують 1-2 м³ газу, а з 1 т різних видів рослин (листя, солома, трава, хвоя, відходи життєдіяльності тварин, людей і т.п.) можна одержувати 300-630 м³ біогазу з концентрацією метану $\approx 70\%$, в тому числі з 1 т відходів рогатих тварин - 200-350 м³ з концентрацією метану $\approx 60\%$ [4].

Сьогодні найбільше біогазу $\approx 18\%$ від власних потреб виробляється в Данії, хоча перша біогазова установка була побудована в позаминулому столітті в Індії, а в минулому столітті такий газ використовувався у Лондоні. В Китаї та Індії розповсюджені приватні біогазові установки, кількість яких досягає ≈ 18 млн. і ≈ 4 млн., відповідно. Якщо у Європі $\approx 50\%$ фабрик птиці використовують біогаз як пальне, то у Китаї $\approx 50\%$ населення забезпечується біогазом. Відомо також, що біогазом замінюють природний газ в автотранспорті, зокрема в Китаї $\approx 60\%$ автобусів працюють на біогазі, в Європі відмічається тенденція до зростання використання біогазу в цій сфері. В Україні відомі поодинокі приватні біогазові установки і не відомі технології, які могли б знайти широке застосування. Тому метою цієї роботи є створення технології і технологічної схеми одержання біогазу, яка могла б використовуватись як промисловими, так і приватними підприємствами.

При перетворенні органічних речовин в середньому з 1 кг можна одержувати $0,25\text{ м}^3$ метану, $0,16\text{ м}^3\text{ CO}_2$, $0,2$ л води та $0,3$ кг твердих залишків. При цьому відходи 1 корови забезпечують до 2 м^3 газу/добу, свині $-0,2\text{ м}^3$ /добу, птиці $-0,015\text{ м}^3$ /добу. За передовими технологіями з 1 м^3 реакційного простору одержують до 2 м^3 газу, а з використанням відходів птиці – у 2 рази більше.

Одна з простих технологій одержання біогазу (див. рис.1), яка може використовуватись в індивідуальному господарстві чи промисловому виробництві, полягає в тому, що зважену на вагах вихідну тверду сировину транспортером 1 чи ручним способом, а рідку сировину наливом подають в бункер 2, з якого вона поступає на дробарку (січкарню) і далі гвинтовим насосом (шнеком) вивантажується в метанатор 3. Рідку сировину можна зразу заливати в метанатор. При використанні, крім відходів тваринництва, інших органічних відходів, сировину в метанаторі прогривають гострою парою при температурі $70\text{ }^\circ\text{C}$ впродовж години. Ступінь заповнення метанатору $\approx 50\%$. В метанаторі 3 відбувається бродіння при температурі $30\text{-}38\text{ }^\circ\text{C}$, в результаті чого через ≈ 7 діб утворюється така кількість газу, яка забезпечує потреби споживача. Якщо використовується підігріта сировина, то газ утворюється значно швидше. Процес бродіння завершується через ≈ 25 діб. Під час метанізації контролюють температуру, тиск, об'єм одержаного газу. Газ після метанатора спочатку поступає в абсорбційну колонку 7, де очищається від сірководню, потім - на вхід компресора 10. Для більш стабільної роботи компресора газ після колонки 7 доцільно збирати в проміжному газгольдері 4. У випадку вологого газу після колонки встановлюють осушувачі, до складу яких входять сепаратор 8 та абсорбер. Сепаратор також бажано встановити після компресора для додаткового видалення води. Компресором 10 газ нагнітається в газові балони, з яких подається в котел спалювання 13, в якому підігрівається вода для нагрівання приміщення або у газові плити. Частина газу після компресора К подають в метанатор для перемішування реакційної маси. Для підтримання необхідної температури в теплообмінник метанатору при необхідності передбачено подачу гарячої води з котла 13 насосом 16. Цим же насосом стимулюють циркуляцію води в системі підігрівання приміщення та в регенераторі 19 абсорбенту. Окремим насосом 17 чи вручну періодично абсорбент з колонки 7 подають в регенератор 19, в якому з абсорбенту за рахунок нагрівання водою з котла видалять абсорбований газ. Абсорбент після регенератора подають в колонку абсорбції. Після того, як

процес утворення газу закінчився, твердий осад вивантажують і завантажують нову порцію сировини в таку кількість, щоб вологість була не менше 90 %. Процес протікає ефективніше тоді, коли сировину завантажують щодобово. Твердий осад використовують як органічне добриво. В найбільш простому варіанті (1-3 приватних господарства) біогаз зразу збирають в газгольдері, з якого по трубі його подають в сепаратор, де відділяється сконденсована вода, а потім - в горілки плити, духовки, котла.

Більш ефективна технологія полягає в тому, що частину одержаного біогазу подають не в котел 13, а в газотурбінний двигун (автомобільний, тракторний двигун і т. п.) з генератором струму 15. Воду, яка охолоджує двигун, використовують для підтримання температури в приміщенні, а електроенергію використовують за призначенням. Коефіцієнт корисної дії такої технології може перевищувати 85 %. При використанні не досить якісного біогазу його якість можна збільшувати змішуванням з природним газом, виходячи з того, що 1 м³ біогазу рівноцінний 0,7 м³ природного газу.

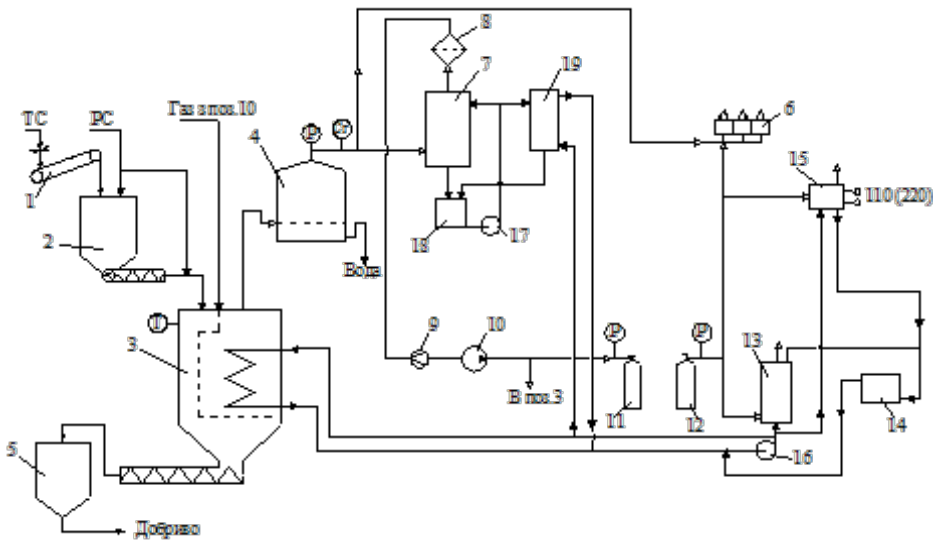


Рис. 1 – Технологічна схема одержання і споживання біогазу:

1 – транспортер; 2 – бункер сировини; 3 – метанатор; 4 – газгольдер; 5 – бункер відходів осаду; 6 – газові горілки; 7 – адсорбційна колонка; 8 – фільтр-сепаратор; 9 – лічильник газу; 10 – компресор; 11, 12 – система балонів; 13 – котел спалювання; 14 – система теплоспоживання; 15 – двигун-генератор; 16, 17 – насоси; 18 – бак абсорбенту; 19 – регенератор; TC – тверда сировина; PC – рідка сировина, Сг – вимірювач концентрації CH₄ та H₂S.

Для оцінки кількості утворюваного газу використовують такі співвідношення: 1 корова ≈ 5 телят ≈ 6 свиней ≈ 250 курок можуть забезпечувати ≈ 1,5 м³ газу/добу.

Основним апаратом для здійснення технології є метанатор. Об'єм метанатора залежить від кількості утворюваного біогазу і може змінюватись від 10 м³- 25 м³ для індивідуальних господарств до 500 м³ і більше для тваринницьких ферм, птахофабрик, вівчарень, заводів по переробці міських відходів. У першому випадку розміри метанатора вибирають 2×2×2-3 м або діаметром ≈ 4 м та глибиною 2 м, зовнішні стінки яких повинні бути ізольовані, наприклад землею для підтримання необхідної температури, особливо взимку. Внутрішні стінки повинні бути

виготовлені з корозійно стійкого матеріалу чи покриті корозійно стійким матеріалом тому, що в процесі бродіння утворюються паралельно з метаном корозійно агресивні двоокис вуглецю та сірководень. Барботажна труба для перемішування і змішувик для підтримання температури можуть бути опущені через верхню горловину, якщо не має можливості забезпечити метанатор оболонкою. Такі метанатори можуть забезпечити потреби 1- 3 типових сільських садиб.

Промислові метанатори об'ємом 200 м³ виробляють 150-240 м³ біогазу в добу. Для забезпечення безперервності потрібно встановлювати 2 таких реактори, що крім того дозволяє одержувати подвійний об'єм біогазу. Для цього потрібно щоб на фермі було \approx 35000 курей, \approx 1500 свиней чи \approx 200 корів. Необхідно підкреслити те, що з 1 м³ робочого об'єму метанатора можна одержувати 5 м³ (відходи корів) -10 м³ (відходи курей) біогазу з питомою теплотою згоряння 22900 – 27170 кДж/м³[5]. Використання суміші органічних речовин дозволяє одержувати більше біогазу, ніж з одного виду сировини. Тому як сировину також вигідно використовувати відходи цукрових заводів, до складу яких зокрема входять сірковмісні речовини.

З викладеного витікає те, що для того щоб створити виробництво біогазу потрібно: ємності сировини, транспортер, метанатор, насоси для завантаження сировини, газгольдер, теплообмінник для підігрівання, сепаратор для відділення води, компресор, балони для газу чи водогрійний котел чи двигун-генератор, абсорбер сірководню (для сірковмісної сировини), бак для осаду, труби металеві чи з пластику або резини, теплоізоляція, прилади для контролю тиску, температури, об'єму газу та концентрації метану, сірководню, вологи. Приміщення каркасного типу для розміщення обладнання. Залежно від продуктивності і призначення біогазу комплектність установки може бути відкорегована.

Висновки: 1. Розглянута технологія одержання біогазу з відходів тваринництва та органічної сировини і показано, що в залежності від сировини, крім метану, в ньому присутні діоксид вуглецю, волога, а в деяких випадках і сірководень. 2. Запропонована технологічна схема одержання біогазу, яка може бути використана як промисловими потужними, так і мілкими приватними підприємствами. 3. Приведено характеристику основного обладнання - метанатору та умови, при яких в ньому утворюється біогаз з концентрацією метану 55-75 % об. та 25-45 % об. діоксиду вуглецю.

4. Показано, що біогаз може бути використаний не тільки для одержання тепла, але й електричної енергії, що значно підвищує коефіцієнт корисної дії.

5. Надано перелік засобів контролю, які необхідні для здійснення технологічного процесу в оптимальному режимі.

Список літератури: 1. А. П. Мельник, Я. И. Сенишин. Перспективи одержання похідних вуглеводнів і паливного газу з вітчизняної сировини// Питання розвитку газової промисловості України.- Х.:УкрНДІгаз, 2007.- В 35.-С. 81-86. 2. Р. С. Gilcrease, G. W. Shur. Биогенный метан – энергоресурс будущего// Нефтегазовые технологии. -2008. -№3.-С.16-19. 2. Експлуатаційникові газонафтового комплексу. Довідник//В.В.Розгонюк, Л.А.Хачикян, М.А.Григіль. – Київ: Росток, 1998.-408 с. 3. А. Кулик. Биогаз: топливо будущего// Нефть и газ.- 2008.- №1.-С. 62-76. 4. А. К. Карапетьянц. Термодинамические величины неорганических и органических соединений. Справочник. М.: Химия, 1981.- 580 с.

Поступила до редколегії 29.10.2009

О. В. ШЕСТОПАЛОВ, аспірант, НТУ «ХПІ»

М. А. ЦЕЙТЛИН, доктор техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»

В. Ф. РАЙКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОСІДАННЯ ТВЕРДОЇ ФАЗИ В СОЛЯНІЙ КАМЕРІ ПІД ЧАС ЗАКЛАДКИ ЇЇ ВІДХОДАМИ

Наведені загальні закономірності процесів, які відбуваються в підземній камері вилуговування під час її закладки шламом. Визначено оптимальну глибина розташування шламopодаючої колони, при якій забезпечується вільне осідання шламу та освітлення розсолу без ризику його забруднення твердою фазою відходів.

Ключові слова: підземна соляна камера, тверда фаза, розсіл.

General regularities of the processes, occurring in underground salt camera during bookmark its by wastes are brought. It is determined optimum depth of the location pillars, under which is provided free settle pulp and clearing brine without risk of its contamination by hard phase departure.

Key words: underground salt cavity, hard phase, brine.

1. Вступ

Найбільш шкідливим і об'ємним відходом виробництва кальцинованої соди аміачним способом є дистилерна суспензія, що утворюється в кількості 8-10 м³ на 1 т соди [1].

Наразі відходи содового виробництва повністю скидаються в шламонакопичувачі (так звані "білі моря"), що займають сотні гектарів земельних угідь і вимагають для свого будівництва і експлуатації дуже великих капітальних витрат.

Складування в наземних полігонах і скидання рідких відходів в підземні водоносні горизонти не вирішує проблеми і приводить до ще більшого порушення екологічної рівноваги.

В зв'язку з цим, перспективним є використання підземних порожнин задля вирішення проблеми накопичування відходів содового виробництва внаслідок їх використання в якості тампонажного матеріалу, що, в свою чергу, сприятиме підвищенню стійкості земної поверхні. На підставі цього, авторами був розроблений і запатентований спосіб закладки твердих відходів содового виробництва у соляних камерах [2]. Але при закладці відходів по запропонованому способу існує вірогідність підсосу твердих часок шламу із зони осадконакопичення в зону забору освітленого розсолу. Для того, щоб запобігти цьому небажаному явищу, рекомендується розташовувати розсолозаборну і шламopодаючу колони на певній висоті від дна камери. Ця висота залежить від властивостей шламoвої суспензії, а також геометричних параметрів соляної камери. Визначення оптимальної висоти розташування шламopодаючої та розсолозаборної колон для заданих параметрів камери можливо лише шляхом вирішення осесиметричної задачі осадження шламoвих відходів у підземній камері із застосуванням методів математичного моделювання процесу.

2. Постановка задачі

Маємо циліндричну камеру радіусом R та висотою H , що заповнена повністю насиченим розчином солі щільністю ρ_1 в спочатку нерухомому стані. У каме-

ру опущені дві труби – одна, що подає відходи (довжина від верху камери l_1 , діаметр труби d_1) та друга, що відкачує розчин (довжина від верху камери l_2 , діаметр труби d_2).

У нагнітаючу трубу, зі швидкістю V_1 м³/с подаються шламові відходи щільністю ρ_2 . Відходи складаються з насиченого розчину солі та нерозчинних твердих частинок щільністю ρ_3 з початковою концентрацією c_1 .

Під дією сили тяжіння тверді частинки опускаються вниз та під дією сил дифузії поширюються горизонтально. З розсолозаборної труби відбирається рідина зі швидкістю V_2 м³/с.

Розглянемо рідину, що складається з розчину солі й твердих частинок. Дослідимо рух цієї двофазної рідини.

Запишемо основні рівняння руху. Позначимо через ρ повну щільність рідини, через c – концентрацію твердих частинок в рідині. При цьому

$$\rho = \rho_3 c + \rho_1 (1 - c) \quad (1)$$

Позначимо через \mathbf{v} вектор швидкості функції. Тоді умова безперервності рідини дає рівняння:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{v} = 0. \quad (2)$$

Запишемо рівняння Нав'є-Стокса для в'язкої рідини [3, 4]:

$$\rho \left[\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right] = -\operatorname{grad} p + \eta \Delta \mathbf{v} + \boldsymbol{\gamma}, \quad (3)$$

де p – тиск у рідині, η – коефіцієнт динамічної в'язкості, що залежить від концентрації твердих частинок, $\boldsymbol{\gamma}$ – вектор масових сил, що описує гравітаційний вплив.

Оскільки в камері концентрація твердих частинок неоднакова, то в системі буде відбуватися дифузійний масопереніс, що описується рівнянням дифузії у вигляді [4, 5]:

$$\rho \left[\frac{\partial c}{\partial t} + \mathbf{v} \nabla c \right] = \rho D \Delta c + f \quad (4)$$

де D – коефіцієнт дифузії, f – функція, що описує джерела речовини (у розглянутій задачі це подача розчину в камеру і відбір з камери).

Одержали систему 6-ти диференціальних рівнянь в частинних похідних (1) – (4) для 6-и невідомих - векторної величини \mathbf{v} та 3-х скалярних величин ρ , c , p .

Оскільки в силу геометрії камери задача має осесиметричний характер, введемо циліндричну систему координат (r, φ, z) , причому в даній задачі всі величини не залежать від координати φ . Розмістимо вісь z вздовж осі камери, направивши її вниз. Центр координат розмістимо зверху камери. Запишемо отриману систему рівнянь для введеної циліндричної системи координат, враховуючи, що всі похідні по координаті φ дорівнюють 0.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial (r \mathbf{v}_r)}{\partial r} + \frac{\partial \mathbf{v}_z}{\partial z} = 0 \quad \text{– рівняння безперервності,} \quad (5)$$

$$\rho \left[\frac{\partial \mathbf{v}_r}{\partial t} + \mathbf{v}_r \frac{\partial \mathbf{v}_r}{\partial r} + \mathbf{v}_z \frac{\partial \mathbf{v}_r}{\partial z} \right] = -\frac{\partial p}{\partial r} + \eta \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \mathbf{v}_r}{\partial r} \right) - \frac{\mathbf{v}_r}{r^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{v}_r}{\partial z^2} \right], \quad \text{–}$$

$$\begin{aligned} & \text{рівняння Нав'є-Стокса,} \quad (6) \\ \rho \left[\frac{\partial \mathbf{v}_z}{\partial t} + \mathbf{v}_r \frac{\partial \mathbf{v}_z}{\partial r} + \mathbf{v}_z \frac{\partial \mathbf{v}_z}{\partial z} \right] &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \eta \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \mathbf{v}_z}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \mathbf{v}_z}{\partial z^2} \right) + \rho g, \\ &= \rho D \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) + f(r, z) \end{aligned}$$

$$\text{– рівняння дифузії.} \quad (7)$$

Граничними умовами є:

- 1) умови рівності нулю швидкості рідини на стінках камери:

$$\mathbf{v}|_{r=R} = 0, \mathbf{v}|_{z=H} = 0, \mathbf{v}|_{z=0} = 0; \quad (8)$$

- 2) умови рівності нулю градієнта концентрації по нормалі до стінки:

$$\left. \frac{\partial c}{\partial r} \right|_{r=R} = 0, \left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z=H} = \left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z=0} = 0; \quad (9)$$

Початкові умови приймають вигляд:

- 1) рівність 0 швидкості точок рідини:

$$\mathbf{v}|_{t=0} = 0; \quad (10)$$

- 2) рівність концентрації твердих частинок в рідині 0:

$$c|_{t=0} = 0; \quad (11)$$

- 3) тиск в рідині розподілено гідростатично:

$$p = \rho g z. \quad (12)$$

Таким чином, маємо систему рівнянь (1), (5)-(7) з граничними умовами (8)-(9) і початковими умовами (10)-(12). Для замикання системи залишилося визначити функцію f , що описує джерела речовини. Оскільки труба, що подає, знаходиться на позначці $z=l_1$, то вона дає потік речовини, що описується дельта-функцією $\rho_2 V_1 \delta(r-0) \delta(z-l_1)$.

Аналогічно труба, що відбирає, дає потік речовини $-\rho V_2 \delta(r-0) \delta(z-l_2)$.

В'язкість рідини буде істотно залежати від концентрації твердих частинок. Прийmemo цю залежність у вигляді [5]

$$\eta = \eta_0 \left[1 + 0.75 \frac{c}{1-c} \right]^2, \quad (13)$$

де η_0 - в'язкість насиченого соляного розчину. Таким чином, в'язкість у твердій фракції відходів вважається нескінченно великою.

Отримана система рівнянь є системою нелінійних рівнянь другого порядку в частинних похідних. Її розв'язок аналітичним способом не представляється можливим. Тому в роботі була реалізована схема чисельного розв'язку даної системи за допомогою сіткових методів. Наведемо тут короткий опис застосованої методики.

3. Вирішення задачі

Введемо просторову сітку $(r_k, z_m), k = 0..K, m = 0..M$

та часову сітку $t_n, n = 0..N$.

При цьому крок сітки по змінною r дорівнює $\Delta r = \frac{R}{K}$, початкове значення $r_0=0$; крок сітки за змінною z дорівнює $\Delta z = \frac{H}{M}$, початкове значення $z_0=0$; крок сітки за змінною t дорівнює $\Delta t = \frac{T}{N}$, початкове значення $t_0=0$.

Тут T - час розрахунку, достатньо великий для виходу системи на стаціонарний режим роботи.

Розглянемо шукані величини в точках сітки – $c_{km}^n, \rho_{km}^n, v_{rkm}^n, v_{zkm}^n, p_{km}^n$. Похідні в рівняннях (5)-(7) замінимо їх кінцевими різницями. Тоді отримаємо таку систему рівнянь:

$$\begin{aligned} & \frac{\rho_{km}^{n+1} - \rho_{km}^n}{\Delta t} + \frac{1}{r_k} \left(v_{rkm}^n + r_k \frac{v_{rk+1,m}^n - v_{rkm}^n}{\Delta r} \right) + \frac{v_{zk,m+1}^n - v_{zkm}^n}{\Delta z} = 0, \\ & + \eta_{km}^n \left(\frac{1}{r_k} \left(\frac{v_{rk+1,m}^n - v_{rkm}^n}{\Delta r} + r_k \frac{v_{rk+2,m}^n - v_{rk+1,m}^n + v_{rkm}^n}{(\Delta r)^2} \right) - \frac{v_{rkm}^n}{r_k^2} + \frac{v_{rk+2,m}^n - v_{rk+1,m}^n + v_{rkm}^n}{(\Delta z)^2} \right), \\ & \frac{\rho_{km}^{n+1} - \rho_{km}^n}{\Delta t} + \frac{1}{r_k} \left(v_{rkm}^n + r_k \frac{v_{rk+1,m}^n - v_{rkm}^n}{\Delta r} \right) + \frac{v_{zk,m+1}^n - v_{zkm}^n}{\Delta z} = 0, \\ & + \eta_{km}^n \left(\frac{1}{r_k} \left(\frac{v_{zk+1,m}^n - v_{zkm}^n}{\Delta r} + r_k \frac{v_{zk+2,m}^n - v_{zk+1,m}^n + v_{zkm}^n}{(\Delta r)^2} \right) + \frac{v_{zk+2,m}^n - v_{zk+1,m}^n + v_{zkm}^n}{(\Delta z)^2} \right) + \rho_{km}^n g_z, \\ & \frac{\rho_{km}^{n+1} - \rho_{km}^n}{\Delta t} + \frac{1}{r_k} \left(c_{k+1,m}^n - c_{km}^n + r_k \frac{c_{k+2,m}^n - c_{k+1,m}^n + c_{km}^n}{(\Delta r)^2} \right) + \frac{c_{km+2}^n - c_{km+1}^n + c_{km}^n}{(\Delta z)^2} + f(r_k, z_m). \end{aligned}$$

Дана система являє собою явну схему різницевого методу, що дозволяє на кожному кроці за часом обчислювати значення невідомих величин на наступному часовому шарі через значення, отримані для поточного шару. Початкові значення величин визначаються початковими умовами:

$$v_{rkm}^0 = v_{zkm}^0 = 0, c_{km}^0 = 0, p_{km}^0 = \rho_{km}^0 g_z, \rho_{km}^0 = \rho_3.$$

Граничні умови (8)-(9) призводять до умов:

$$\begin{aligned} v_{rKm}^n = v_{zKm}^n = 0, v_{rk0}^n = v_{zk0}^n = 0, v_{rkm}^n = v_{zkm}^n = 0, \\ c_{K-1,m}^n = c_{Km}^n, c_{k,0}^n = c_{k,1}^n, c_{k,M-1}^n = c_{k,M}^n. \end{aligned}$$

Оскільки отримана система також є нелінійною, через нелінійність параметра

$$\eta_{km}^n = \eta_0 \left[1 + 0.75 \frac{c_{km}^n}{1 - c_{km}^n} \right]^2,$$

то рішення в одному часовому шарі уточнювалися з урахуванням зміни нелінійних параметрів.

У розрахунку були прийняті наступні значення параметрів: $R=100$ м, $H=100$ м, $\rho_1=1200$ кг/м³, $\rho_2=2650$ кг/м³, $c_1=0.155$, $d_1=0.146$ м, $d_2=0.219$ м. Були отримані поля швидкостей, концентрації, густини та тиску в камері в залежності від розташування шламоподаючої колони, l_1 . На рис.1 та рис. 2 наведені графіки розподілу концентрації відходів та розподілу щільності рідини по висоті камери для різних r в момент часу $t=T/10$, де T – час повного заповнення камери. Тут прийнято $l_1=0.4 H$.

У роботі було досліджено вплив висоти шламоподаючої колони, на розподіл концентрації відходів в камері. На рис. 3-5 наведено розподіл концентрації відходів в камері, рис. 3 відповідає $l_1=0$, рис. 4 – $l_1=0.2H$, рис.5 – $l_1=0.6 H$.

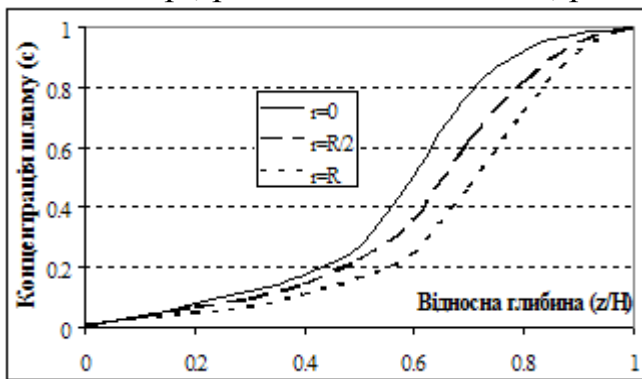


Рис. 1. Розподіл концентрації домішок в камері при $l_1=0.4 H$

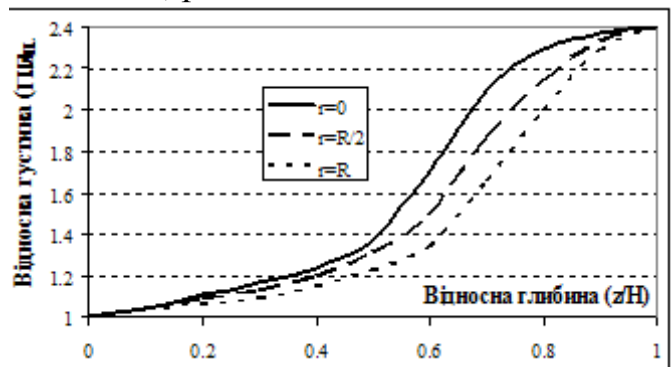


Рис. 2. Розподіл густини рідини в камері при $l_1=0.4 H$

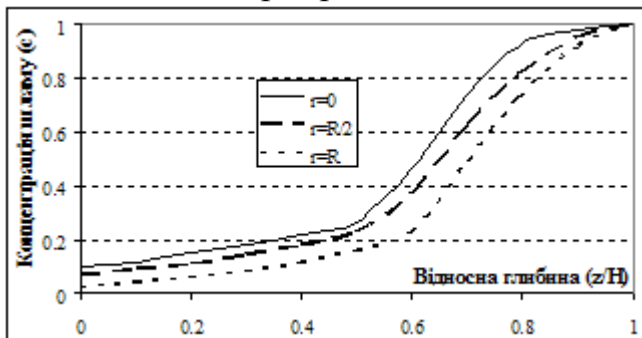


Рис. 3. Розподіл концентрації домішок в камері при $l_1=0$

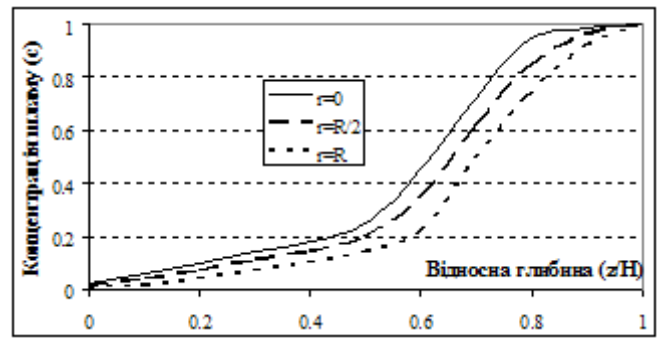


Рис. 4. Розподіл концентрації домішок в камері при $l_1=0.2H$

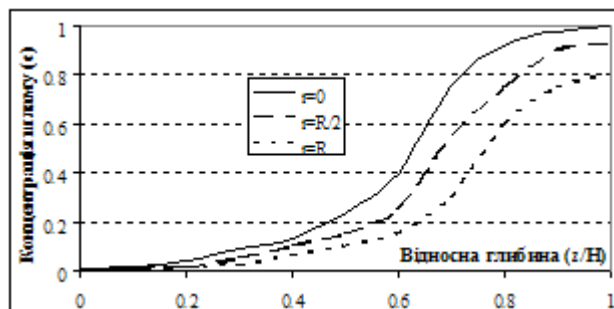


Рис. 5. Розподіл концентрації домішок в камері при $l_1=0.6H$

4. Висновки

Як видно з наведених графіків, при невеликій висоті труби, що подає шлам, у верхнього краю камери за рахунок перемішування рідини спостерігається певна концентрація відходів, що перешкоджає відбору очищеного розчину солі (див. рис.3). При підвищенні глибини шламopодаючої колони, спостерігається явище неповного заповнення камери відходами, що призводить до зменшення максимальної місткості камери (див. рис.5). Таким чином, виконаний чисельний експеримент дозволяє зробити висновок про оптимальну глибину розташування шламopодаючої колони, в діапазоні $(0.3H \dots 0.4H)$.

Список літератури: 1. *Ткач Г.А., Шапоров В.П., Титов В.М.* Производство соды по малоотходной технологии.– Харьков: ХГПУ, 1998.– 429 с. 2. Декл. патент №35317 А Україна, МПК 7 B65G5/00, E21F 17/16. Спосіб закладки твердих відходів содових виробництв в підземних соляних камерах / Шестопалов О. В., Цейтлін М. А., Райко В. Ф., Надрук. 10.09.2008, Бюл. № 17. 3. *Ханпель Дж., Бреннер Г.* Гидродинамика при малых числах Рейнольдса // М.:Изд. Мир, – 1976 – 630 с. 4. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Теоретическая физика. — Издание 4-е, стереотипное. — М.: Наука, 1988. — Т. VI. Гидродинамика. — 736 с.

5. *Р.И. Нигматулин.* Динамика многофазных сред, тт. 1,2. - М.: Наука, 1987

Поступила до редколегії 29.11.2009

УДК: 628

Г.В.СЛЕПЦОВ, к.т.н., с.н.с. (ГК «Экополимер»)

И.Ю.БОЙКО, инженер (ГК «Экополимер»)

Е.С. ЛИСОГОР, к.т.н., доцент (НТУ «ХПИ»)

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА

Стічні води м'ясопереробних заводів характеризуються різкими коливаннями складу та високим вмістом зважених речовин, жирів, ХПК і БПК. В роботі наведено результати дослідження кінетики фізико-хімічної очистки СВ м'ясопереробного заводу реагентною напорною флотацією.

Waste water of meat-processing plants is characterized by fluctuation of its analysis and high level of suspended solids, fats, COD and BOD content. In this research work is given research results of physicochemical treatment kinetics of meat-processing plants waste water by chemical agent pressure flotation.

Исследования показателей качества сточных вод (СВ) мясоперерабатывающего завода по производству пищевых полуфабрикатов свидетельствуют о значительных колебаниях состава (табл. 1).

Полную очистку СВ мясоперерабатывающего производства предусмотрено проводить последовательно физико-химическим и биологическим методом. Физико-химическая очистка включает механическую очистку от грубодисперсных примесей, реагентную обработку и напорную флотацию. В данной статье приведены результаты исследования реагентной напорной флотации на примере промышленной станции флотации производительностью 40 м³/ч.

Таблица 1. – Показатели качества СВ мясоперерабатывающего завода

Показатели качества	Пробы СВ				
	№1	№2	№3	№4	№5
Взвешенные вещества, мг/л	3505	662	64	685	474
Жиры и масла, мг/л	670	198	1,2	14,8	8,3
ХПК, мг/л	1700	2900	1610	2700	1340
Азот общий, мг/л	7,3	-	7,0	14,7	-
АПАВ	0,79	0,11	0,27	-	0,23
БПК ₅ , мг/л	990	740	96	41	550
Хлориды, мг/л	-	294	67	390	400
Сульфаты, мг/л	-	4,0	47	-	13,9
pH	-	6,6	7,2	6,9	7,5

После процеживания и усреднения СВ насосом постоянным расходом подают вначале во флокулятор, где ее обрабатывают коагулянтom – полиалюминийхлоридом, и синтетическим органическим катионным флокулянтom, при одновременном регулировании величины pH. Затем воду подают в напорный флотатор, снабженный отстойной и флотационной камерами.

В таблице 2 приведены данные очистки по таким показателям, как содержание взвешенных веществ, ХПК и содержание жиров до (1) и после (2) очистки реагентной напорной флотацией.

Таблица 2. – Показатели качества СВ до и после очистки

Проба	Показатели качества				
	Взвешенные вещества, мг/л	Жиры и масла, мг/л	ХПК общ, мг/л	ХПК взв., мг/л	ХПК раств., мг/л
№1 до очистки	3505	670	1700	844	856
№1 после очистки	16,6	3,3	860	4	852
α очистки, %	99	99	49	99	0,5
№2 до очистки	662	198	2900	1591	1309
№2 после очистки	21,2	13,4	1360	51	1258
α очистки, %	97	93	53	97	4
№3 до очистки	685	14,8	2700	1405	1295
№3 после очистки	7,2	<0,5	1310	15	1280
α очистки, %	99	97	51	99	1
№4 до очистки	474	8,3	1340	1332	17
№4 после очистки	27,7	3,1	94	77	17
α очистки, %	96	63	93	94	0

Можно записать, что XPK_{CB}^o равно сумме $XPK_{взв}^o$ взвешенных веществ и $XPK_{раств}^o$ растворенных веществ:

$$XPK_{CB}^o = XPK_{взв}^o + XPK_{раств}^o, \quad (1)$$

Величина ХПК взвешенных веществ после флотации будет равна

$$XPK_{взв}^{фл} = \alpha_{взв} \times XPK_{взв}^o, \quad (2)$$

где $\alpha_{\text{взв}}$ - степень очистки от взвешенных веществ,

$$\alpha_{\text{взв}} = (C_{\text{взв}}^o - C_{\text{взв}}^{\text{фл}}) / C_{\text{взв}}^o, \quad (3)$$

$C_{\text{взв}}^o$, $C_{\text{взв}}^{\text{фл}}$ - содержание взвешенных веществ в исходной СВ и после очистки, соответственно.

С учетом (2) ХПК СВ после флотационной очистки равно

$$\text{ХПК}_{\text{СВ}}^{\text{фл}} = \text{ХПК}_{\text{взв}}^o + \text{ХПК}_{\text{раств}}^{\text{фл}} - \alpha_{\text{взв}} \times \text{ХПК}_{\text{взв}}^o. \quad (4)$$

Примем, что содержание растворенных веществ практически не меняется в результате флотации, то есть $\text{ХПК}_{\text{раств}}^o \approx \text{ХПК}_{\text{раств}}^{\text{фл}}$, а эффективность реагентной напорной флотации по удалению взвешенных веществ высокая. Тогда, вычтя уравнение (4) из (1), получим

$$\text{ХПК}_{\text{взв}}^o = (\text{ХПК}_{\text{СВ}}^o - \text{ХПК}_{\text{СВ}}^{\text{фл}}) / \alpha. \quad (5)$$

Таким образом, с помощью уравнений (1), (3) и (5) с использованием данных физико-химического анализа СВ до и после флотационной очистки можно количественно оценить содержание в СВ растворимых и нерастворимых органических веществ.

Результаты расчетов приведены в таблице 2. Данные расчета свидетельствуют о существенном колебании соотношения $\text{ХПК}_{\text{взв}}^o / \text{ХПК}_{\text{раств}}^o$. А т.к. напорная флотация эффективна только при очистке от взвешенных веществ, то нагрузка на стадию биологической доочистки СВ будет также переменной. Это обстоятельство следует учитывать при проектировании участка биологической доочистки СВ мясокомбинатов.

Флотацию можно представить, как аналог химического процесса взаимодействия пузырьков воздуха с дисперсными примесями [1]. Скорость флотации можно описать с помощью математического аппарата формальной химической кинетики, используя уравнение второго порядка [2]:

$$dN/dt = k_{\text{fl}} \times C_s^{n_1} \times C_g^{n_2}, \quad (6)$$

где, k_{fl} - константа скорости флотации,

C_s - концентрация флотируемых частиц примеси в единице объема,

C_g - концентрация пузырьков в единице объема.

n_1 - кинетический порядок процесса флотации по флотируемым частицам,

n_2 - кинетический порядок процесса флотации по пузырькам.

Учитывая, что число пузырьков в единице объема C_g , как правило, поддерживается постоянным (при заданных расходах жидкости и газа, а также давлении газа), уравнение (4) упростим до уравнения первого порядка

$$dC/dt = k_{\text{fl},np} \times C_s^{n_1} \quad (7)$$

и тогда константу скорости можно вычислить по уравнению

$$-(\Delta \ln C_{\text{fl}}) / \Delta t = k_{\text{fl},np}. \quad (8)$$

где $k_{\text{fl},np}$ - приведенная константа скорости флотации, [время⁻¹].

Экспериментально подтверждено, что процесс напорной флотации имеет первый порядок по взвешенным веществам $n_I=1$. Зависимости $\ln C - \ln(dC/dt)$ прямолинейны и имеют тангенс угла наклона (соответствующий n_I), равный 1.

Константы скорости вычисляли по методу «длинных интервалов» (с использованием начального и конечного значения XPK) и по методу «коротких интервалов» (с использованием промежуточных значений XPK).

Таблица 3. – Константы скорости очистки СВ от взвешенных и растворенных веществ, рассчитанные по методу длинных ($k_{fl,взв}^d$) и коротких ($k_{fl,взв}^k$) интервалов

Проба	$k_{fl,взв}^d$	$k_{fl,взв}^k$	$k_{fl,раств}$
№1	0,2621	0,2646	0,0002
№2	0,1699	0,1757	0,0020
№3	0,2250	0,2205	0,0006
№4	0,1402	0,1860	0,0000
Средние значения	$0,1999 \pm 0,0017^*$	$0,2117 \pm 0,001$	$0,0007 \pm 2,39 \times 10^{-5}$

* Примечание: константы рассчитаны при уровне значимости, равном 0,95.

Флокулятор и флотатор расположены последовательно так, что в начале во флокуляторе происходят процессы смешения реагентов с СВ, коагуляция и флокуляция примесей, а затем, во флотаторе – частичное осаждение крупных и флотационное извлечение мелкодисперсных примесей.

Схему реагентной напорной флотации, таким образом, можно представить последовательностью двух процессов первого порядка



где A - удаляемые примеси, B - коагулюм, P - удаляемые продукты флотации – пена и осадок, k_1 и k_2 - константы скорости процессов, протекающих, соответственно, во флокуляторе и флотаторе.

Так как экспериментально невозможно определить отдельно значения XPK , достигаемые в процессах коагуляции и флотации, то для вычисления констант воспользовались программой, приведенной в [3]. Расчет проведен с учетом того, что флокулятор является моделью идеального смесителя, а флотатор - моделью идеального реактора-вытеснителя, а процессы, как во флокуляторе, так и флотаторе имеют кинетический порядок, равный единице. Константа скорости процессов во флокуляторе равна 0,2278, а во флотаторе - - 0,0105 мин⁻¹ (отрицательный знак свидетельствует о том, что вещество удаляется из СВ).

Суммарная константа скорости удаления взвешенных веществ, вычисленная по экспериментальным данным с использованием уравнения (8) с достаточной точностью ($\pm 4\%$) совпадает с суммой констант отдельных процессов $k_{fl,взв} \approx k_1 + k_2 = 0,2175$. Среднее значение константы скорости удаления взвешенных веществ напорной реагентной флотацией, рассчитанные различными способами – длинных и коротких интервалов и отдельно, равно 0,2095 мин⁻¹.

Рассчитанные по экспериментальным данным константы скорости очистки СВ от взвешенных и растворенных органических веществ (табл. 3), подтверждают, что эффективность флотационной очистки от взвешенных веществ значительно

выше, чем от растворенных органических веществ. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что $k_{fl,взв}/k_{fl,раств}=290$. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании системы очистки СВ мясоперерабатывающих заводов.

Таким образом, исследована физико-химическая очистка – напорная реагентная флотация, СВ мясоперерабатывающих заводов. С помощью математического аппарата формальной химической кинетики определены константы скорости флотационной очистки СВ от взвешенных и растворенных веществ, а также от взвешенных веществ отдельно во флотаторе и флокуляторе.

Список литературы: 1. Слепцов Г.В., Собина М.А., Ионенко В.И. Про кінетику електрофлотокоагуляції синтетичного латексу. – Доповіді АН УРСР, Серія Б. – 1974, с.560-563. 2. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. – 4-е изд. – М.: Высш.шк., 1984. – 463 с. 3. Мариничев А.Н., Турбович М.Л., Зенкевич И.Г. Физико-химические расчеты на микро-ЭВМ: Справ. Изд. – Л.: Химия, 1990. – 256 с.

Поступила в редколлегию 29.11.2009

УДК 661.961.1

Н. Н. ЗИПУННИКОВ, аспирант, НТУ «ХПИ»

Б. А. ТРОШЕНЬКИН, д.т.н., проф., ИПМаш НАНУ

ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛНОТЫ РЕАКЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ОТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА

У роботі наведені результати дослідів по одержанню водню з води за допомогою сплавів ферросилікоалюмінію у кінетичному реакторі. Виконано статистичну обробку експериментальних даних. Установлено основні параметри виділення водню, що впливають на процес.

The data of experiments on reception of hydrogen from water using ferro/aluminium/silicic alloys in a kinetic reactor are given. Statistical processing of experimental data are executed. Key parameters influencing on process of hydrogen obtaining are established.

Введение

При решении ряда задач усложненных процессов прибегают к экспериментально-статистическим методам. Используя при обработке опытных данных принципы регрессионного и корреляционного анализа, удается найти зависимость между переменными и условиями оптимума [1]. Целью исследования является поиск математического описания зависимости полноты реакции получения водорода от основных параметров процесса.

Методы исследования

В данной работе рассмотрены сплавы ферросилікоалюмінія (ФСА) следующего химического состава (масс. %): ФСА 25 (Fe - 10, Si - 65, Al - 25); ФСА 30 (Fe - 10.3, Si - 59.9, Al - 29.8).

Опыты проведены в кинетическом реакторе объемом ($V_p = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$). Исследована реакция взаимодействия сплавов с водным раствором NaOH. Концентрация щелочи изменяется от 10 до 13,3 %, температура реакции варьировалась от 90 до

137 °С. Давление в реакторе находилось в пределах 0,6 - 11 атм. Полнота реакции оценивалась за время полного периода процесса. Результаты опытов представлены в таблице 1. Наибольшую активность проявил сплав ФСА 25. Далее выполнено математическое описание опытных данных для данного сплава.

Основными параметрами, влияющими на полноту реакции (X_5), являются: X_1 – температура, X_2 – концентрация щелочи, X_3 – процентное содержание алюминия в сплаве, X_4 – давление в реакторе.

Таблица 1. Зависимость полноты реакции от температуры, давления, концентрации щелочи и содержания алюминия в сплавах ФСА 25, ФСА 30

№ опыта	Температура реакции, X_1 , °С	Концентрация щелочи, X_2 , %	Содержание алюминия, X_3 , %	Давление в реакторе, X_4 , атм	Полнота реакции, X_5 , %
1	120	13,3	25	10,6	59
2	121	13,3	25	10,7	60
3	123	13,3	25	10,7	61
4	122	13,3	25	10,7	61,5
5	124	13,3	25	10,7	63
6	125	13,3	25	10,7	64
7	126	13,3	25	10,75	64,5
8	133	10	25	11	67
9	130	13,3	25	11	65
10	135	13,3	29,8	9,6	65
11	133	13,3	29,8	9,4	61
12	134	10	29,8	9,2	61
13	92	13,3	29,8	4,4	29
14	90	10	29,8	0,6	27

На рис. 1 представлен график изменения давления от числа опытов, проведенные в одинаковых условиях.

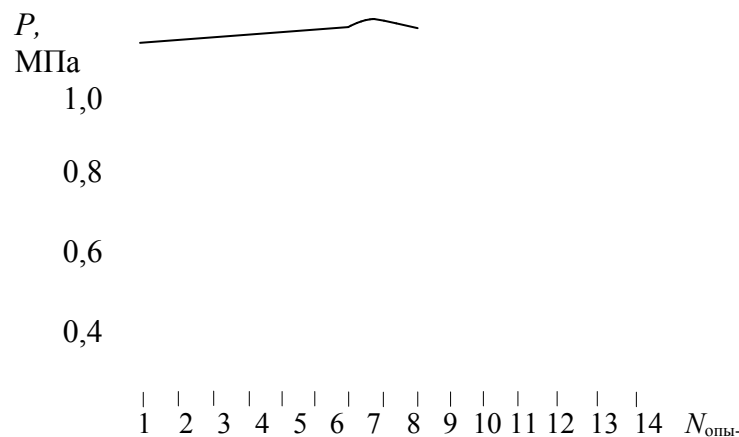


Рис. 1 – Зависимость изменения давления от количества опытов для сплава ФСА 25 в кинетическом реакторе ($V_p = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$)

Изменение давления в зависимости от N - испытаний подчиняется закону равномерного распределения вероятностей на участке N (1 - 7). Плотность распределения

$f(x)$ и функция распределения $F(x)$ связаны соотношением [2]

$$\begin{aligned} F'(x) &= f(x), \\ f(x) &= c, \text{ при } a < x < b, \end{aligned} \quad (1)$$

следовательно, $c = \frac{1}{b-a}$; $b - a = \frac{1}{c}$;

где $c = 0,076$; $b - a = 13$.

Из последнего равенства следует, что интервал (α, β) , на котором имеет место равномерное распределение, обязательно конечен.

Вероятность того, что случайная величина x примет значение, заключенное в интервале $N(1 - 7)$, составляет

$$\begin{aligned} P(\alpha < x < \beta) &= (\beta - \alpha)/(b - a), \\ P(\alpha < x < \beta) &= 0,46. \end{aligned} \quad (2)$$

Математическое ожидание дискретной случайной величины для независимых факторов носит случайный характер [2, 1]

$$M[x] = \sum_{k=1}^n x_k p_k, \quad (3)$$

где x_k – дискретная случайная величина; p_k – вероятность значений.

$M(x_1) = 396,92$; $M(x_2) = 42,9$; $M(x_3) = 80,67$; $M(x_4) = 34,5$.

Математическое ожидание квадрата случайной величины [1]

$$M[x^2] = \sum_{k=1}^n x_k^2 p_k, \quad (4)$$

$M(x_1^2) = 48834,19$; $M(x_2^2) = 570,82$; $M(x_3^2) = 2016,87$; $M(x_4^2) = 368,97$.

Дисперсия [2, 1]

$$D[x] = M[x^2] - M[x]^2, \quad (5)$$

$D(x_1) = 48437,27$; $D(x_2) = 527,9$; $D(x_3) = 1936,2$; $D(x_4) = 334,46$.

Сумма дисперсий составляет $\sum D_i^2 = 2350308547$.

Проверка однородности дисперсий производится по критерию Кохрена [1]

$$G_{\max} = \frac{D_{\max}^2}{\sum D_i^2}, \quad (6)$$

$G_{\max} = 0,9982 < G_{\Gamma} = 0,9985$ – следовательно дисперсии однородны; $G_{\Gamma}(N, m - 1)$ – табличное значение критерия Кохрена при уровне значимости $q = 0,05$ [3].

Дисперсия воспроизводимости [1]

$$D^2_{\text{воспр}} = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{N}, \quad (7)$$

$D^2_{\text{воспр}} = 3,62$.

Для дисперсии воспроизводимости значение числа степеней свободы определяется по формуле [1]

$$f_1 = N \cdot (m - 1), \quad (8)$$

где $m = 3$ – количество повторяемых опытов; $f_1 = 14$.

Среднее квадратичное отклонение j -го коэффициента [1]

$$S_{b_j} = \sqrt{\frac{D^2_{\text{воспр}}}{\sum_{i=1}^N x_i^2}}, \quad (9)$$

$S_{b_1} = 0,094362$; $S_{b_2} = 0,036206$; $S_{b_3} = 0,058037$; $S_{b_4} = 0,127891$.

Коэффициенты регрессии рассчитываются по формуле [1]

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i}{N}, \quad (10)$$

свободный член уравнения регрессии определяется по зависимости [1]

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}, \quad (11)$$

$$b_0 = 5,27; b_1 = 0,89; b_2 = 0,07; b_3 = -0,3; b_4 = 0,046.$$

Оценка значимости коэффициентов регрессии производится по критерию Стьюдента [1]

$$t_j = \frac{|b_j|}{S_{b_j}}, \quad (12)$$

$$t_1 = 9,5; t_2 = 1,93; t_3 = 5,21; t_4 = 0,36.$$

Табулированное значение критерия Стьюдента для уровня значимости $q = 0,05$ и числа степеней свободы $f = 14$ равно $t_q(f) = 2,14$ [4].

После отсева незначимых коэффициентов, для которых t -отношение меньше табулированного, получаем уравнение регрессии в безразмерном виде

$$X_5 = 5,27 + 0,89X_1 - 0,3X_3. \quad (13)$$

Основные факторы, влияемые на процесс выделения водорода представлены на рис. 2.

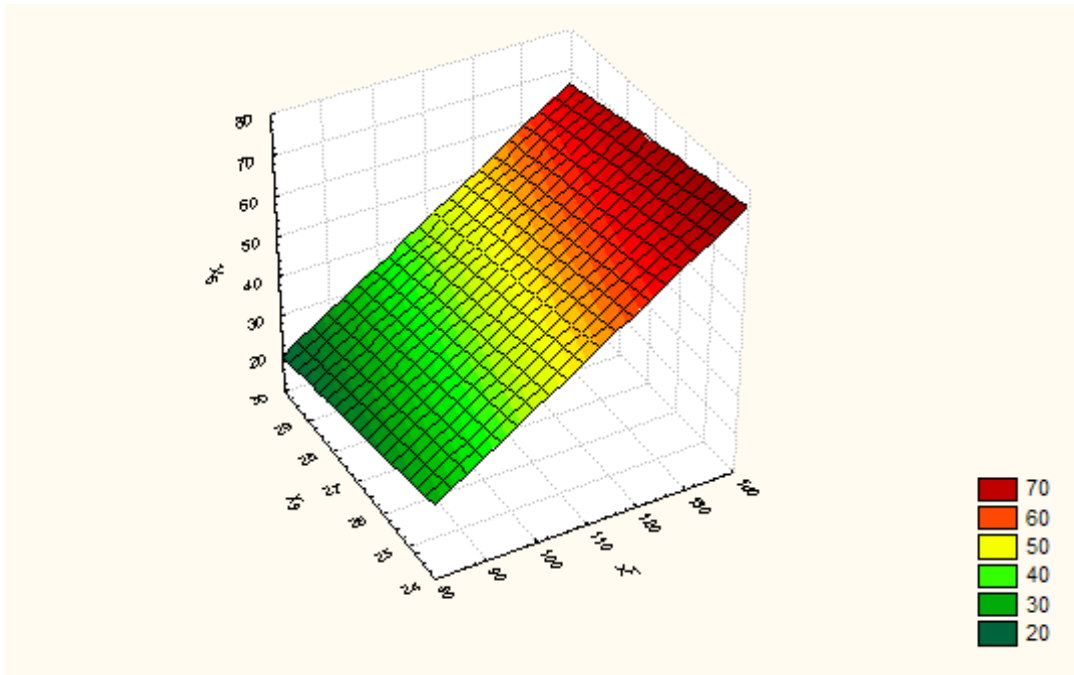


Рис. 2 – Зависимость полноты реакции выделения водорода от температуры и процентного содержания алюминия в сплавах ФСА

Для проверки адекватности полученного уравнения, определяем остаточную дисперсию и критерий Фишера [1, 4]

$$D_{\text{ост}}^2 = \frac{m \sum (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{N - l}, \quad (14)$$

$$D_{\text{ост}}^2 = 15,204; l = 2 - \text{число связей.}$$

Критерий Фишера [2, 1]

$$F = D_{\text{ост}}^2 / D_{\text{воспр}}^2, \quad (15)$$

$F = 4,2$ – соответственно в 4,2 раза уменьшилось рассеяние относительно полученного уравнения регрессии по сравнению с рассеянием относительно средне-

го.

Табулированное значение критерия Фишера для выбранного уровня значимости $p = 0,05$ и чисел степеней свободы $f_1 = N - 1 = 6$ и $f_2 = N - l = 5$ составило 4,39 [4]; $F < F_p(f_1, f_2)$ и следовательно, полученное уравнение адекватно эксперименту.

Выводы

В результате статистической обработки получено уравнение регрессии, которое адекватно описывает экспериментальные данные и может служить для управления и регулирования процессом получения водорода из воды с использованием сплавов ФСА. Установлено, что влияние изменения концентрации щелочи от 10 до 13,3 % и давления на процесс выделения водорода незначительно. Полученные данные могут быть использованы при эксплуатации водородных реакторов, работающих при атмосферном давлении [5, 6].

Список литературы: 1. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М.: Химия, 1976. – 464 с. 2. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления. – М.: Наука, 1970. – 576 с. 3. Бондарь А. Г. Планирование эксперимента в химической технологии. – К.: «Вища школа», 1976. – 183 с. 4. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 832 с. 5. Полевые газодобывающие водородные установки ОКСИЛИТ-ЗИС-12, ВУГ-ЗИС-500, ВУГ-120 и ПВУ-100. Описание и конструкции по эксплуатации. – М.: Воениздат Наркомата обороны, 1943. – 128 с. 6. Когутов И. Л. Газовое дело в дирижаблестроении. – М.: Редакционное издательство отд. Аэрофлота, 1938. – 328 с.

Поступила в редколлегию 15.01.2010

Д.А. ДЕМИН, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРО- ПЛАВКОЙ

У статті описана методологія формування функціонала для розрахунку оптимального управління електроплавкою на основі двох альтернативних міркувань - максимізації продуктивності устаткування і мінімізації витрат при його функціонуванні. Запропонована методологія розрахунку оптимального управління процесом електроплавки на основі представлення печі як елементу системи масового обслуговування «піч – ливарний конвейер».

In the article methodology of forming of functional is described for the calculation of optimum management metallurgical process on the basis of two alternative considering are maximizations of the productivity of equipment and minimization of expenses at his functioning. Methodology of calculation of optimum metallurgical process control is offered on the basis of presentation of stove as element of the queuing system «stove is a casting conveyer».

1. Введение

Технологический процесс электроплавки, как сложная динамическая система, характеризуется изменением своих состояний во времени. Каждое из состояний описывается группой факторов, определение которых по ходу плавки с помощью статистических и теоретико-информационных методов исследований должно позволять решать поставленную задачу управления – выдерживание каждого заданного параметра процесса в нужном диапазоне в течение всего периода плавки при минимальных энерго- и ресурсозатратах.

Специфической особенностью плавки, как объекта управления, является то, что отклонения от нормального хода процесса в любой момент времени могут быть вызваны не только объективными факторами, но и ошибками обслуживающего персонала, осуществляющего субъективный контроль за ходом технологического процесса. Кроме этого, современное состояние плавильного оборудования, используемого в цехах отечественных предприятий, может быть охарактеризовано как «состояние физического и морального износа». Основным путем борьбы за качество литейной и металлургической продукции является модернизация в первую очередь систем управления. Однако на этом пути стоят объективные трудности. В частности, отсутствуют математические модели, позволяющие описывать параметры процессов электроплавки с учетом различных особенностей промышленного производства, а также методология получения моделей для алгоритмов управления электродуговой плавкой. По этой причине управление качеством получаемого сплава в существующих системах управления не закладывается, и ограничиваются, как правило, качественными оценками протекающих в печи процессов. В этой связи представляется актуальной проблема совершенствования процессов и систем управления электроплавкой.

2. Постановка задачи.

Для совершенствования процессов управления плавкой, в первую очередь, необходимо сформулировать задачу управления плавкой как сложным, стохастическим процессом. Постановка задачи управления, при этом, может быть сведена, как и для детерминированных систем, к решению следующих проблем:

- выбору уравнений, описывающих поведение системы во времени
- формированию системы ограничений на управление и фазовую траекторию
- выбору вида минимизируемого функционала
- выбору длительности временного интервала, на которой рассматривается управляемый процесс.

Первые две проблемы рассматривались в работах [1-11]. Ниже приведены результаты исследований, касающиеся третьей и четвертой проблем.

3. Общий принцип конструирования функционала при разработке оптимального управления процессом плавки

Классические представления о выборе функционала из двух альтернативных соображений - о максимизации производительности оборудования или минимизации затрат при его функционировании не приемлемы при разработке систем управления электродуговым процессом. Причина этого заключается в следующем.

Производительность электродуговой печи должна быть согласована с производительностью литейного конвейера. Если потребность в расплаве не обеспечивается, возникают простои и соответствующие убытки из-за нехватки металла. С другой стороны, наличие в печи "лишнего" количества расплава приводит к затратам, связанным с перерасходом электроэнергии (КПД электродуговой печи в период перегрева и доводки не превышает 25%). Таким образом, задача выбора рационального ведения процесса сводится к определению периодов времени работы печи в режиме плавки и термовременной обработки и оптимизации по энергозатратам количества расплава в печи в каждый момент времени с учетом необходимой потребности в расплаве литейного конвейера. Фактически, речь может идти о том, что необходимо найти подход к формированию функционала, который обеспечивал бы и выполнение требований по производительности литейного конвейера, и по снижению энергозатрат на плавку.

Уравнение, описывающее поведение стохастической системы в общем виде включает в себя случайную составляющую возмущений $\sigma(\tau, x(\tau), u)d\xi(\tau)$, вносимых в технологический процесс:

$$dx(\tau) = a(\tau, x(\tau), u)d\tau + \sigma(\tau, x(\tau), u)d\xi(\tau), \tau \geq 0, \quad (1)$$

где $x(\tau)$ – фазовый вектор, u – управление, реализуемые в n -мерном факторном пространстве. Вектор-функция $a(\tau, x(\tau), u)$ и матрица σ считаются заданными.

Решение уравнения (1) для любого $\tau \geq 0$ определяется для начального условия $x(0) = x_0$. При этом x_0 может быть как детерминированным, так и случайным вектором. Время движения исследуемой системы нельзя считать заданным - сама

длительность процесса плавки может рассматриваться как функция, зависящая от фактической потребности в расплаве, энергетических затрат на плавку и степени завершенности металлургических процессов в печи. Поэтому говорить о задаче управления на конечном интервале времени не приходится. Момент времени начала и окончания управления печью зависит от того, когда система достигнет заданного целевого множества, состоящего из характеристик состава, структуры, свойств чугуна, расхода электроэнергии, производительности. Таким образом, исследуемый процесс управления может быть отнесен к процессам, в которых момент окончания движения не задан и является случайной величиной, определяемой конкретной траекторией движения.

При формировании системы ограничений на управление процессом электродуговой плавки можно рассматривать два варианта: ограничения зависят от имеющихся ресурсов или ограничения зависят от полноты информации о процессе. Первый вариант соответствует этапу плавления шихты и система ограничений формируется на основе методов, описанных в разделах 2-3. Вторым вариантом соответствует этапу работы печи в режиме миксера, т.е. этапу, для которого собственно решается задача оптимального управления. Для разработки методов построения оптимального управления плавкой необходимо учесть сочетание обоих типов ограничений. Рассмотрим второй вариант ограничений. Выбирая в качестве фазовых координат садку печи, теоретически может быть получено решение, оптимизирующее управление электродуговой плавкой по времени. Таким образом, реализуется программное управление. Рассмотрим возможность выбора структуры функционала, исходя из принадлежности исследуемой системы к одной из «классических» задач:

- задаче Лагранжа.
- задаче Майера
- задаче Больца

Если исследуемую систему свести к задаче Лагранжа, целевой функционал может быть определен в виде математического ожидания:

$$J(u) = M \left[\int_0^T F_1(\tau, x(\tau), u) d\tau \right] \quad (2)$$

В качестве функции $F_1(\tau, x(\tau), u)$ должна быть выбрана функция, связывающая энергетические показатели работы печи и фактическую производительность печи в заданный момент времени. При этом необходимо учесть, что интервал времени, на котором функционирует система, не задан. Реализация программного управления осуществляется системой управления путем отключения напряжения на печи и подачи команды на исполнительные механизмы, осуществляющие поворот печи и выпуск расплава определенной порции. Исполнительными механизмами являются гидроцилиндры, сигнал подается на электромагниты гидрораспределителя. При таком подходе целесообразно в качестве управления выбрать время выдержки расплава в печи при постоянной заданной температуре. Изменение массы расплава, происходящее за короткий промежуток времени, равный сливу порции расплава, может расцениваться как мгновенное, входное воздействие на систему. При этом выходными параметрами объекта управления (ОУ) являются теплоэнергетические характеристики печи, её эксплуатационные

показатели и качественные характеристики сплава. В любом случае названные показатели – суть динамические характеристики.

Следовательно, выбирая в качестве целевого функционала функционал вида (2), необходимо получить функциональную зависимость $F_1(\tau, x(\tau), u)$ и определить временной интервал функционирования системы.

Если исследуемую систему свести к задаче Майера, целевой функционал может быть представлен в виде:

$$J(u) = M[F(T, x(T))], \quad (3)$$

где $M[F(T, x(T))]$ - математическое ожидание функции $F(T, x(T))$, описывающей фазовый вектор.

При таком выборе функционала необходимо, во-первых, определить оптимальную величину T , во-вторых, - установить, какой вектор целесообразно использовать в контексте поставленной задачи.

Если для функционала (4.2) фазовым вектором является вектор с компонентами – суть энергетическими и эксплуатационными характеристиками, то для функционала (3) в качестве фазового вектора может быть выбран вектор с компонентами, «формирующими» качество сплава. Последними являются концентрации элементов химического состава в чугуне.

Следовательно, выбирая в качестве целевого функционала функционал вида (3), необходимо получить функциональную зависимость $F(T, x(T))$ и определить временной интервал функционирования системы.

Если исследуемую систему свести к задаче Больца, целевой функционал может быть представлен в виде:

$$J(u) = M \left[F(T, x(T)) + \int_0^T F_1(\tau, x(\tau), u) d\tau \right] \quad (4)$$

Функционал вида (4) требует знания функций $F(T, x(T))$ и $F_1(\tau, x(\tau), u)$, а также интервала времени, на котором функционирует система. Минимизация функционала (4) предполагает минимизацию суммарного критерия, учитывающего затраты энергетические, эксплуатационные и затраты от получения некачественной продукции, т.е. брака отливок.

Если первые две составляющие характеризуют «эксплуатационную» эффективность ОУ, то последняя характеризуют «качественную» эффективность процесса плавки. Так как природа исследуемого процесса носит вероятностный характер, необходимо получить количественный критерий, характеризующий вероятность того, что система достигнет заданного целевого множества Ω . Последним может быть химический состав чугуна, оптимальный с точки зрения выбранного критерия – свойств чугуна или его микроструктуры. Методология моделирования и оптимизации таких критериев описана в разделе 2.

При такой постановке соответствующий целевой функционал получается из функционала (4.4) путём подстановки $F_1(\tau, x(\tau), u) = 0$ и $F(T, x(T)) = 1$ при $x(T) \in \Omega$ и $F(x(T)) = 0$ при $x(T) \in R_n \setminus \Omega$ (при условии, что величина T найдена), где Ω – заданное целевое множество из n -мерного евклидова пространства R_n .

Следовательно, в этом случае функционал (4.4) равен вероятности достижения системой (4.1) в конечный момент времени T заданного целевого множества Ω .

Считая, что эффективность процесса плавки оценивается качеством получаемого сплава, а последний является функцией химического состава, можно считать нормальным такое функционирование системы, при котором её координаты принадлежат множеству Ω на всем интервале движения. Поэтому функционал может быть записан в виде:

$$P\{x(T) \in \Omega, 0 \leq \tau \leq T\} \rightarrow \max \quad (5)$$

Применение функционала (5) (впрочем, как и функционалов (2)-(4)) требует предварительного определения момент окончания движения, являющегося, по сути, случайной величиной, зависящей от конкретной траектории.

Обозначив момент времени первого достижения системой (1) целевого множества Ω через $\tau_x(u)$ при управлении u и начальном условии $x(0)=x$, задача сводится к минимизации по u функционала $M \tau_x(u)$, т.е. к задаче стохастического быстроедействия. В этом случае необходима минимизация функционала вида

$$J = M \int_0^{\tau_x} F_1(\tau, x(\tau), u) d\tau \quad (6)$$

Однако, непосредственное применение любого из перечисленных функционалов, не представляется возможным в силу следующих причин:

- отсутствие функций $F(T, x(T))$, $F_1(\tau, x(\tau), u)$;
- отсутствие методики определения оптимальной величины $\tau_x(u)$;
- сложность объединения в одном целевом функционале «эксплуатационной» и «качественной» составляющих ОУ.

Для решения названных проблем необходим дифференцированный подход.

На первом этапе необходимо разработать методологию формирования целевого функционала по «эксплуатационным» критериям.

На втором этапе необходимо выбрать управляющие факторы и получить структуру целевого функционала.

На третьем этапе необходимо разработать методологию расчета оптимального управления - времени выдержки расплава в печи.

Конечным результатом реализации такого подхода является определение оптимальных моментов подачи сигнала на отключение напряжения печи и исполнительные механизмы поворота печи и расчет оптимальной садки в течение интервала $[0, \tau_x]$.

Для конструирования функционала в контексте поставленных задач дуговая печь представлена элементом системы массового обслуживания (СМО), конкретно - в виде многоканального узла обслуживания заявок на расплав, генерируемых литейным конвейером. В этом случае функционал может быть представлен в виде:

$$Z(m(\tau)) = S_1 Q k P(m(\tau)) + S_2 [m(\tau) - (Qk - QkP(m(\tau)))/Q], \quad (7)$$

где $Z(m(\tau))$ – суммарные затраты в момент времени τ , связанные с простоями из-за отсутствия металла (низкого его качества) и наличия в печи “лишнего” металла; S_1 – себестоимость 1 тонны сплава; S_2 – затраты, связанные с выдержкой и пе-

регревом расплава в печи; Q_k – интенсивность потока заявок на расплав, генерируемого конвейером; $P(m(\tau))$ – вероятность простоя конвейера (вероятность того, что формы на конвейере не будут залиты вследствие отсутствия расплава); $mk(n)$ – среднее число занятых каналов, имеющее смысл КПД печи в данный промежуток времени.

При этом оптимальным можно считать управление, минимизирующее функционал вида (7). Управлением является время выдержки расплава в печи в зависимости от потребности в расплаве, генерируемой литейным конвейером. Траектория системы представляет собой технологическую схему процесса плавки.

4. Синтез оптимального управления

Исходные данные для разработки математической модели представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для разработки математической модели

Количественные характеристики	Значения
Интенсивность потока заявок на расплав, генерируемая литейным конвейером, λ т/смену	$\lambda_{\min}=1$ $\lambda_{\max}=11$
Среднее время обслуживания заявок, соответствующее времени выдержки расплава в печи, $\bar{T} = \mu^{-1}$, мин	$\mu^{-1}_{\min}=5$ $\mu^{-1}_{\max}=45$
Среднее число заявок, генерируемое литейным конвейером, за среднее время обслуживания заявки, $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda \bar{T}$	$\lambda_{\text{норм}} \mu^{-1}_{\text{норм}},$ $\lambda_{\text{норм}} = \frac{\lambda - 6}{5}$ $\mu^{-1}_{\text{норм}} = \frac{\mu^{-1} - 25}{20}$
Стоимость тонны литья, S_1 , грн.	12000
Стоимость электроэнергии, S_2 , грн/кВт	0,71
Расход электроэнергии на выдержку и перегрев расплава, кВт*ч/т.	105

Инструментом для построения математической модели выбран метод планирования эксперимента с построением центрального ортогонального композиционного плана второго порядка. Входными переменными являются интенсивность потока заявок на расплав, генерируемая литейным конвейером, ($x_1 = \lambda$) и время выдержки расплава в печи ($x_2 = \mu^{-1}$). Выходным параметром – суммарные затраты в технологическом процессе по причине отсутствия металла и выдержке в печи лишнего расплава ($y = Z$).

Особенностью нахождения оптимального управления является то, что в первую очередь определяется оптимальная траектория системы, описывающая такое значение фазовой координаты, при котором минимизируется функционал вида (7), и только после этого рассчитываются оптимальные значения управляющих факторов.

Математическая модель в нормированном виде имеет вид:

$$G^* = 47898 + 1918 \frac{\lambda - 6}{5} + 3,573 \frac{\bar{T} - 25}{20} - 0,675 \left[\left(\frac{\lambda - 6}{5} \right)^2 - 0,6667 \right] - 1,924 \left[\left(\frac{\bar{T} - 25}{20} \right)^2 - 0,6667 \right] + 1,772 \left(\frac{\lambda - 6}{5} \right) \left(\frac{\bar{T} - 25}{20} \right) \quad (8)$$

Статистический анализ точности выполнен в соответствии с t -критерием Стьюдента. Границы доверительного интервала и расположение экспериментальных точек показаны на рис.1.

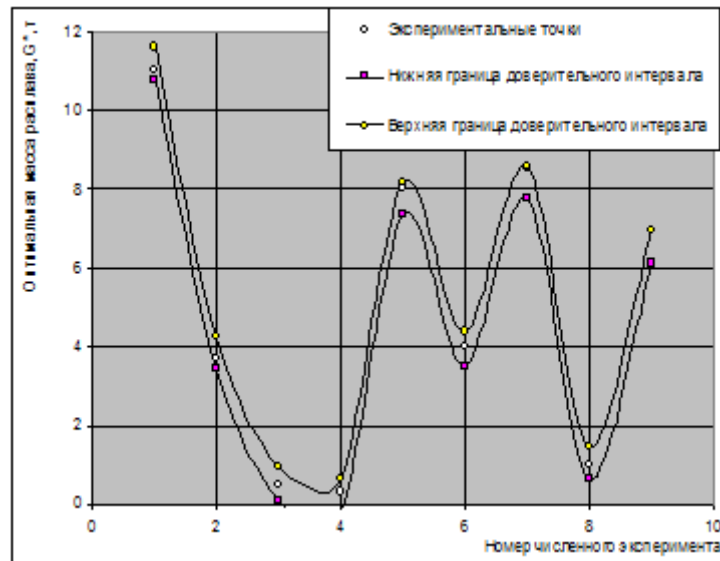


Рис.1. Границы доверительных интервалов и расположение экспериментальных точек

Как видно из рис.1, математическая модель адекватно описывает влияние интенсивности потока заявок на расплав, генерируемого литейным конвейером, и времени выдержки расплава на оптимальную массу расплава. Поверхность отклика, имеет вид, представленный на рис.2

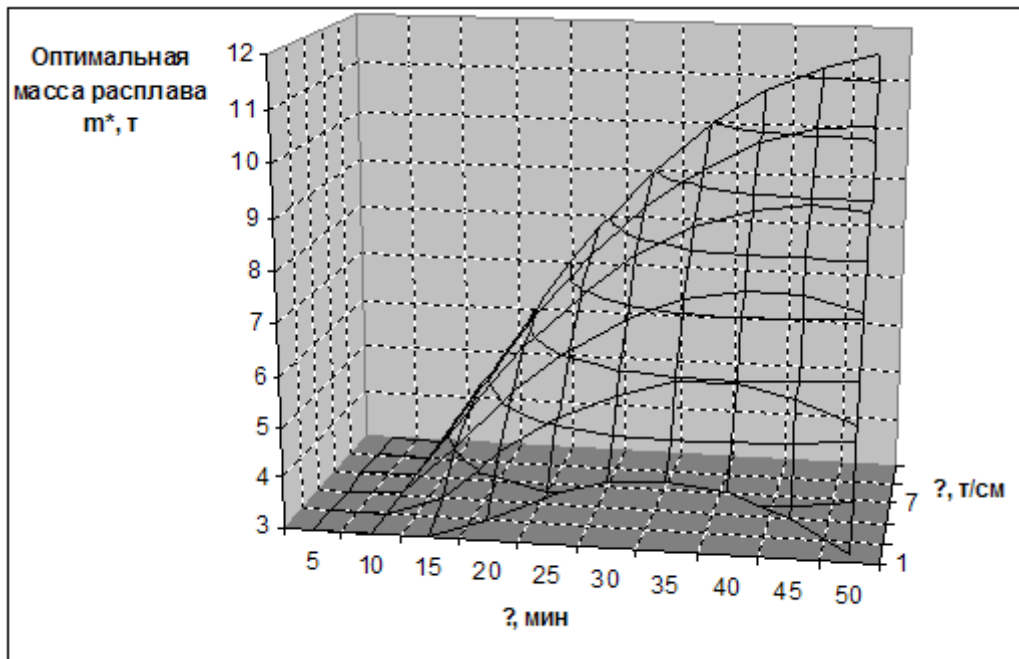


Рис.2. Поверхность отклика, описывающая зависимость $m^* = f(\lambda, \mu^{-1})$

Характер поверхности отклика показывает, что оба входных параметра оказывают существенное влияние на выходной параметр. Учитывая, что выходной параметр представляет собой оптимальное решение в поставленной задаче управления, необходимо проанализировать степень влияния каждого из входных параметров и смысл этих параметров.

Входной параметр λ – фактически это та масса расплава, которая должна выдаваться на литейный конвейер с определенной интенсивностью. Она определяет величину Δm^* , вычитая которую из начальной оптимальной массы через некоторый оптимальный интервал времени, получается новая оптимальная траектория системы. Входной параметр μ^{-1} – это то оптимальное время выдержки расплава, по истечению которого необходимо производить слив очередной порции расплава массой Δm^* .

Анализ поверхности отклика позволяет сделать вывод о том, что в исследованной области входных переменных глобальный оптимум отсутствует. Поставленная задача не предполагает нахождения глобального оптимума. Необходимо найти оптимальную траекторию системы, соответствующую оптимальной технологической схеме электродугового процесса. Для этого необходимо, задаваясь различными значениями интенсивности λ , определять оптимальные значения μ^{-1} , соответствующие оптимальному времени выдержки расплава. Для нахождения оптимального управления может быть применен ридж-анализ. Оптимальные управления определяются из уравнения:

$$X^* = \begin{pmatrix} \frac{-0,959\lambda - 0,2617}{0,8859^2 - (\lambda + 1,9237)(\lambda + 0,6752)} \\ \frac{-1,787\lambda - 0,357}{0,8859^2 - (\lambda + 1,9237)(\lambda + 0,6752)} \end{pmatrix} \quad (9)$$

Решение уравнения существует в 3-х областях определения λ , разделенных полюсами $\lambda = -2,383$ и $\lambda = -0,2157$:

$\lambda \in]-\infty; -2,383[$	для гребневой линии I
$\lambda \in]-2,383; -0,2157[$	для гребневых линий II-III
$\lambda \in]-0,2157; +\infty[$	для гребневой линии IV

Радиус-вектор рассчитывается из уравнения:

$$r^{2*} = \begin{pmatrix} \frac{-0,959\lambda - 0,2617}{0,8859^2 - (\lambda + 1,9237)(\lambda + 0,6752)} \\ \frac{-1,787\lambda - 0,357}{0,8859^2 - (\lambda + 1,9237)(\lambda + 0,6752)} \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \frac{-0,959\lambda - 0,2617}{0,8859^2 - (\lambda + 1,9237)(\lambda + 0,6752)} \\ \frac{-1,787\lambda - 0,357}{0,8859^2 - (\lambda + 1,9237)(\lambda + 0,6752)} \end{pmatrix} \quad (10)$$

На рис.3 представлена зависимость $r = r(\lambda)$.

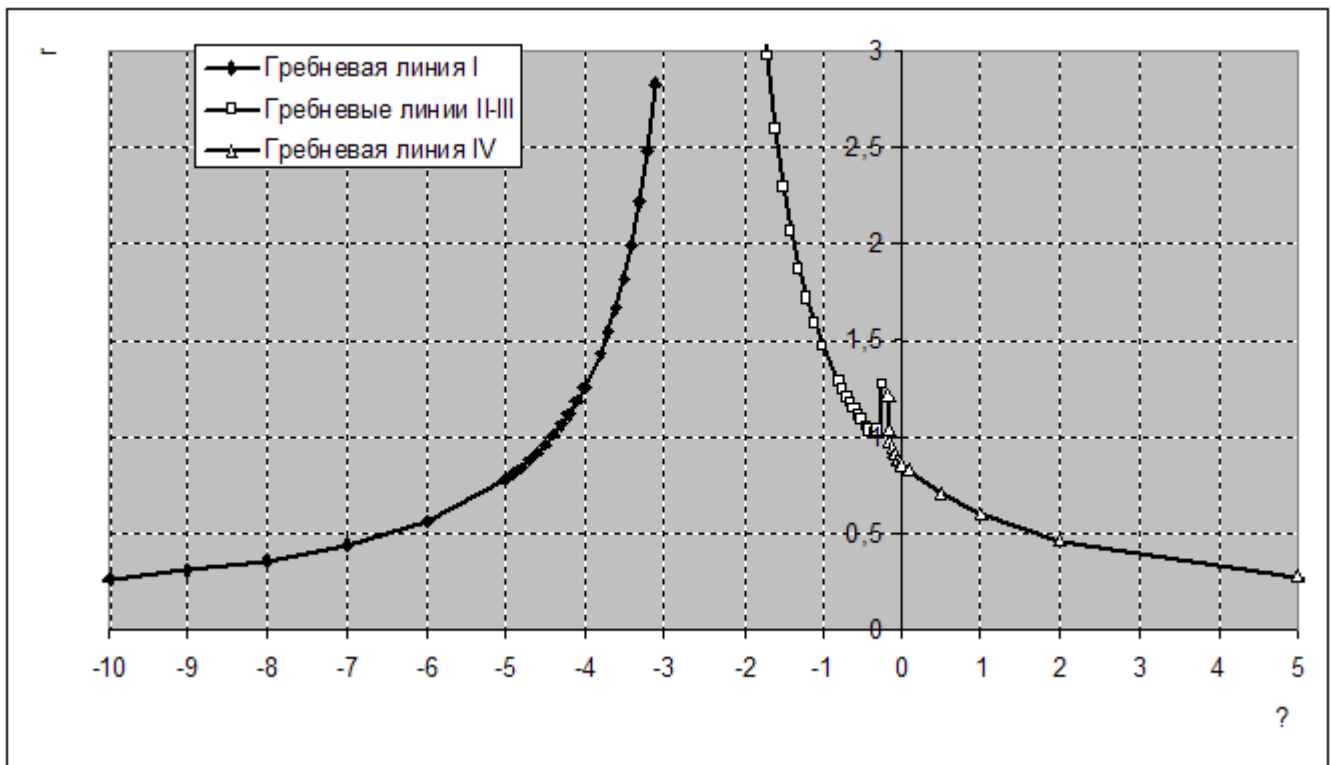


Рис.3. Зависимость $r=r(\lambda)$.

Множество оптимальных решений математической модели описывается векторным уравнением:

$$y^* = a_0 + 2a'X^* + X^{*'}AX^* \quad (11)$$

На рис.4. приведено решение (11) в зависимости от значений λ во всех диапазонах областей определения.

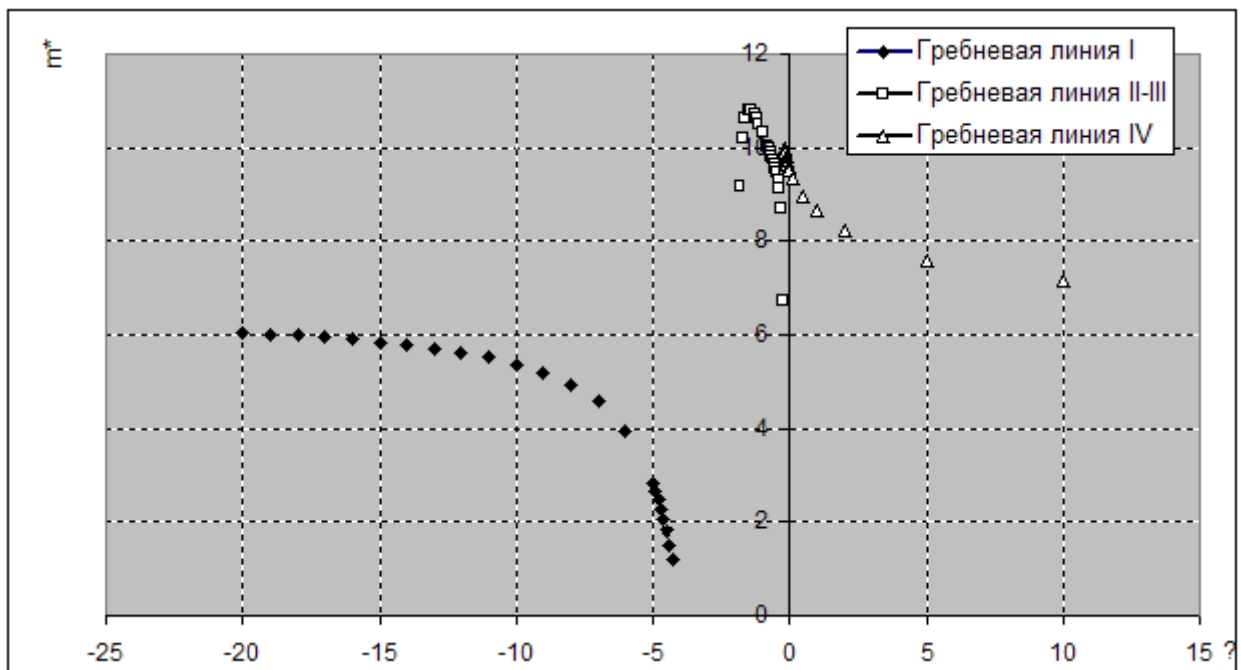


Рис.4. Зависимость $y=y(\lambda)$.

Множество оптимальных решений приведено на рис.5.

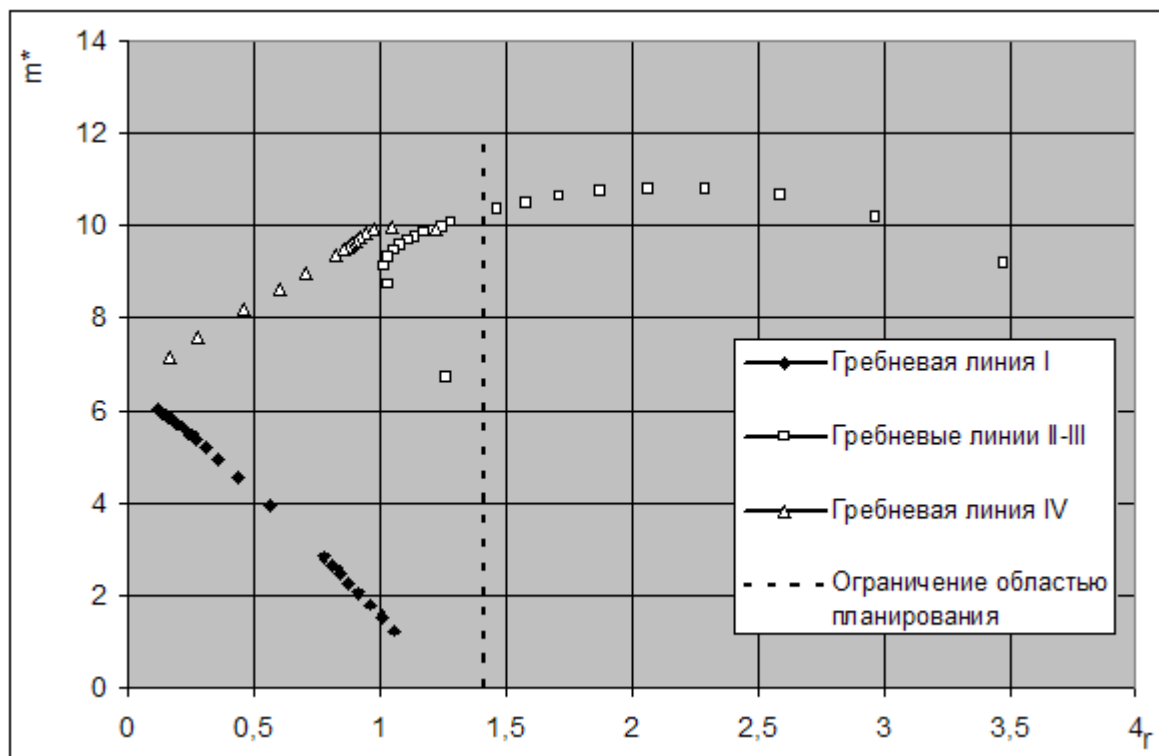


Рис.5. Зависимость $y^*=y^*(\lambda)$.

Оптимальное управление строится по итерационной процедуре следующим образом: по заданной начальной садке рассчитывается оптимальное управление U^* , соответствующее (9), затем определяется минутная интенсивность выдачи расплава, масса расплава, выдаваемого на конвейер и масса расплава, оставшаяся в печи и на этом промежутке времени. Таким образом последовательно формируется оптимальная технологическая схема плавки. Схема является носителем следующей информации: о моментах времени отключения печи на слив, о количестве сливаемого расплава и об интервале времени выдержки расплава определенной массы (оптимальной точки зрения минимизации суммарных затрат на технологический процесс).

Моделируя температурный профиль печи и кинетические уравнения, описывающие фактические изменения содержания элементов химического состава сплава, может быть построено оптимальное управление процессом. Оно включает в себя два этапа.

Этап 1. Расчет оптимальной величины корректирующих присадок, вводимых в печь для максимизации функционала (5). Функционал в этом случае требует выбора такого управления, которое обеспечивает максимум вероятности попадания выбранного показателя качества сплава в заданный диапазон. Такой диапазон может быть регламентирован ГОСТами или получен построением математической модели, связывающей химический состав с данным показателем качества сплава. Управление осуществляется в моменты времени $\tau=T$, соответствующие моментам слива расплава из печи и диктуемым оптимальной технологической схемой плавки.

Этап 2. Расчет оптимальной степени напряжения трансформатора в моменты времени, соответствующие выдержке расплава в печи заданной массы при за-

данной температуре. При этом масса диктуется оптимальной технологической схемой плавки, а температура – требованием максимизации функционала:

$$J = \int_{\tau_i}^{\tau_{i+1}} dt \rightarrow \min, \quad (12).$$

где τ_i – момент времени, соответствующий включению напряжения после слива порции расплава, τ_{i+1} – момент времени, соответствующий отключению напряжения для слива очередной порции расплава. По сути, функционал (12) требует максимальной скорости нагрева расплава до требуемой температуры.

На рис.6 представлен пример построения директивного графика плавки в исследуемой 10-ти тонной печи, рассчитанный на основе разработанных методов определения оптимального управления процессом.

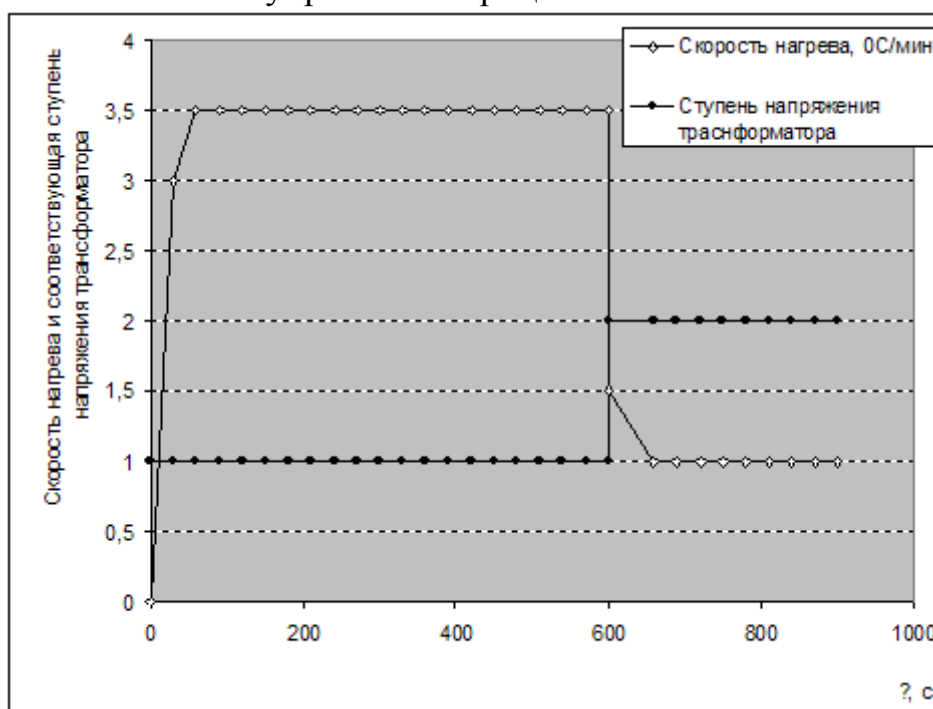


Рис.6. Пример построения оптимального директивного графика плавки.

5. Выводы

1. Формирование структуры функционала при синтезе оптимального управления электроплавкой может осуществляться на основе исследования работы дуговой печи как элемента системы массового обслуживания. Полученный при этом функционал сочетает в себе требования к процессу управления количественного и качественного характера.

2. Для нахождения оптимального управления необходимо построить оптимальную траекторию системы, которая является технологической схемой процесса. Оптимальные управляющие воздействия могут быть получены в результате гребневого анализа поверхности отклика, описывающей функционирование печи как элемента системы массового обслуживания; управляющим воздействием является момент времени переключения ступеней напряжения печи.

3. Разработанная методологии поиска оптимального управления может лечь в основу технической реализации систем управления

Список литературы: 1. Дёмин Д.А. Адаптивный подход к разработке энергосберегающей технологии электродуговой плавки. Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Харьков.-2000.-Выпуск №77.-с.24-25. 2. Дёмин Д.А. Методы оценки и оптимизация показателей эффективности технологического процесса плавки. Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков.-2000.-Выпуск №117.-с.42-44. 3. Дёмин Д.А. Статистическое моделирование зависимостей между структурными составляющими чугуна, модифицированного ферросилицием. Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Харьков.-2000.-Выпуск №119.-с.36-39. 4. Дёмин Д.А. Выбор области планирования промышленных экспериментов при решении задачи оптимизации свойств легированного чугуна. Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Харьков.-2000.-Выпуск №128.-с.121-126. 5. Дёмин Д.А. Статистическое моделирование зависимостей между структурными составляющими и твёрдостью чугуна, модифицированного ферросиликованадием. Процессы литья.-2001.-№2.-с.55-58. 6. Дёмин Д.А., Запороженко Т.В. Энергосберегающая технология получения легированного чугуна. Процессы литья.-2001.-№4.-с.3-5. 7. Дёмин Д.А. Оптимизация режима работы дуговой электропечи при плавке легированного чугуна. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2004. - №6(12).2004. – с. 43-46. 8. Дёмин Д.А., Ефремова Т.В., Чибичик О.А. Моделирование системы массового обслуживания „дуговая печь-литейный конвейер”. Тезисы докладов “Экономический путь к высококачественному литью”. – Киев: Редакция журнала „Процессы литья” при участии МП „Информлитьё”.-2005.- с.38-40. 9. Дёмин Д.А., Божко А.Б., Зрайченко А.В., Некрасов А.Г. Идентификация чугуна для определения рациональных режимов легирования. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. - №4/1(22).2006. – с. 29-32. 10. Д.А. Дёмин. Моделирование кинетики химсостава чугуна при плавке в электродуговой печи. Вестник Национального технического университета «ХПИ». - Харьков. - 2005.-Выпуск №27.-с.41-46. 11. Д.А. Дёмин. Управление электродуговой плавкой на основе построения адаптивной модели «химический состав - микроструктура чугуна». Вестник Национального технического университета «ХПИ». - Харьков. - 2007.-Выпуск №30.-с.31-43.

Поступила в редколлегию 18.01.2010

УДК 621.226

П.М. АНДРЕНКО, д-р техн. наук, проф., НТУ “ХП”
М.С. СВИНАРЕНКО, асистент, ХДТУБА, м. Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ В ГІДРАВЛІЧНОМУ ГАСИТЕЛІ ПУЛЬСАЦІЙ ТИСКУ

Наведені результати розрахункових досліджень робочих процесів у гідравлічних пасивних гасителях пульсацій тиску. Визначено вплив окремих конструктивних елементів гасителя на його коефіцієнт гасіння.

The results of calculation researches of workings processes are resulted in the hydraulic passive extinguishers of pulsations of pressure. Influence of separate structural elements of extinguisher is certain on his coefficient of extinguishing.

Вступ. Застосування гідравлічних пасивних гасителів пульсацій тиску (ГПТ) в сучасних об’ємних гідроагрегатах дозволяє підвищити їх робочі та експлуатаційні характеристики за рахунок зменшення шуму і вібрації, що виникають при їх роботі, значення яких регламентовано відповідними Держстандартами, підвищити надійність шляхом зменшення пульсацій тиску робочої рідини (РР). Серед усіх ГПТ, аналіз конструктивних схем яких зроблено нами в [1], найбільше розповсюдження отримали пасивні ГПТ. Вони, при достатньо високих коефіцієнтах гасіння пульсацій тиску РР, найбільш повно задовольняють вимогам енергозбереження і мають високу надійність.

Аналіз літературних джерел. Питанням проектування ГПТ присвячена достатня кількість наукових робіт, наприклад [1 – 7] та ін. Так в [2, 3] наведено схеми ГПТ і залежності по визначенню співвідношення довжини каналів. Проте, наведені залежності не дозволяють досліджувати робочий процес в ньому. В [4] наведено методу проектування ГПТ, основу на електроаналогії, при використанні якої накладається ряд обмежень, пов’язаних з розмірами ГПТ та часом проходження нестационарних гідродинамічних процесів в ньому. Її використання для дослідження робочих процесів в ГПТ є досить трудомістким. В [5] наведені математичні моделі ГПТ, побудовані з використанням метода Фур’є, які можуть бути використанні при визначенні їх коефіцієнтів гасіння. Однак, ці математичні моделі не дозволяють отримати повну картину проходження робочих процесів в ГПТ. Проведений нами аналіз літературних джерел дозволив встановити, що дослідження робочих процесів в ГПТ не знайшло в них належного висвітлення. Більшість дослідників обмежуються визначенням конструктивних та робочих параметрів ГПТ та коефіцієнту гасіння. Отже дослідження робочих процесів в ГПТ є актуальним науковим завданням, вирішення якого відкриває шлях до їх удосконалення.

Мета статті. Метою статті є дослідження робочих процесів в ГПТ, встановленого в об'ємному гідроагрегаті.

Робочі процеси у ГПТ. Для підвищення коефіцієнту гасіння нами розроблений ГПТ з автоматичним підстроюванням параметрів (рис. 1) [6]. Його математична модель в зосереджених параметрах розроблена нами в статті [7] (зосередження здійснювалося за Т-подібною схемою, а у вихідному каналі за Г-подібною) та використана при дослідженні робочих процесів в ньому. Розрахункові дослідження робочих процесів в ГПТ проводили в пакеті Mathcad за допомогою розробленої програми шляхом математичного моделювання пульсацій тиску в його каналах та камерах. Приймали, що ГПТ має такі розміри: $d_1 = d_2 = 1 \cdot 10^{-2}$ м; $d_3 = 0,1$ м; $d_4 = 6,5 \cdot 10^{-2}$ м; $d_5 = 8 \cdot 10^{-3}$ м; $d_6 = 5 \cdot 10^{-3}$ м; $d_7 = 3 \cdot 10^{-2}$ м; $d_c = 6 \cdot 10^{-2}$ м; $l = 27,2 \cdot 10^{-2}$ м; $l_1 = 3,6 \cdot 10^{-2}$ м; $l_2 = 1,5 \cdot 10^{-2}$ м; $l_3 = 8 \cdot 10^{-3}$ м; $l_4 = 0,1$ м; $l_{c1} = l_{c2} = 7 \cdot 10^{-2}$ м; максимальне переміщення сильфонів $l_{c \max} = 5,5 \cdot 10^{-2}$ м; діаметр отвору 5 дорівнює $2,2 \cdot 10^{-3}$ м; коефіцієнти витрат отворів та дроселя $\mu = 0,7$. Параметри РР (масла ІГП): $\rho = 885$ кг/м³; $\nu_l = 2,8 \cdot 10^{-5}$ м²/с; температура 50⁰С; вміст повітря – 0,8%, модуль об'ємної пружності $E = 1,35 \cdot 10^3$ МПа. Жорсткість сильфонів, які розташовано у вхідній та вихідній камерах ГПТ відповідно становить $27 \cdot 10^4$ Н/м і $22 \cdot 10^4$ Н/м. При розрахунку задавалися початковими і граничними умовами: задавали витрату на виході з об'ємного насоса, яка становила $5,1 \cdot 10^{-4}$ м³/с, та знаючи опір гідроагрегату, який задавали за допомогою дроселя, встановленого на виході ГПТ (діаметр дроселя становив $4,2 \cdot 10^{-3}$ м), знаходили $p_1(0) = p_1(T)$, $p_1(0, t) = p_1(t)$, де T – період повторення циклу коливань. Пульсації витрати з виходу об'ємного насоса, які моделювали напівсинусоїдами, як найбільш наближених до реальних пульсацій, становили 5 % від їх усередненого значення, а частота $f = 250$ Гц.

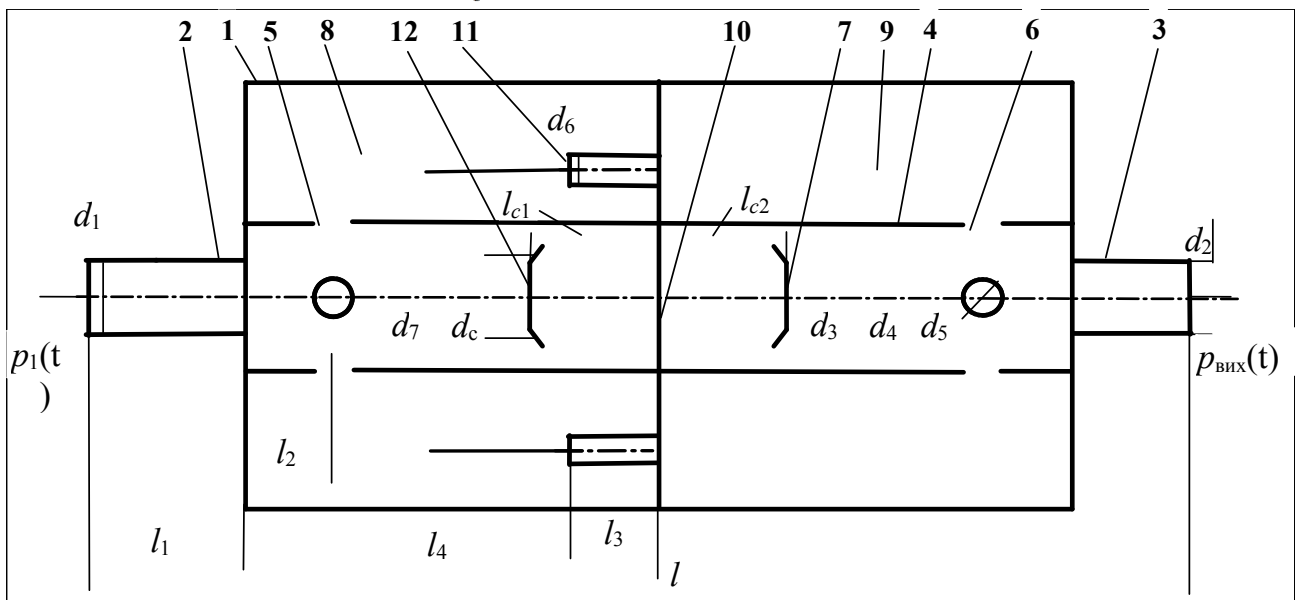


Рис. 1. Схема ГПТ: 1 – корпус; 2 і 3 – відповідно, вхідний і вихідний патрубки; 4 – центральна труба; 5 і 6 – отвори; 7, 12 – сильфони; 8 і 9 – проточні камери; 10 – перегородка; 11 – короткі внутрішні патрубки

Результати математичного моделювання робочих процесів у ГПТ наведені на рис. 2 – 10. Досліджували ГПТ з автоматичним підстроюванням параметрів (рис. 1) – криві 1 на рис. 2 – 9, ГПТ – №1, ГПТ

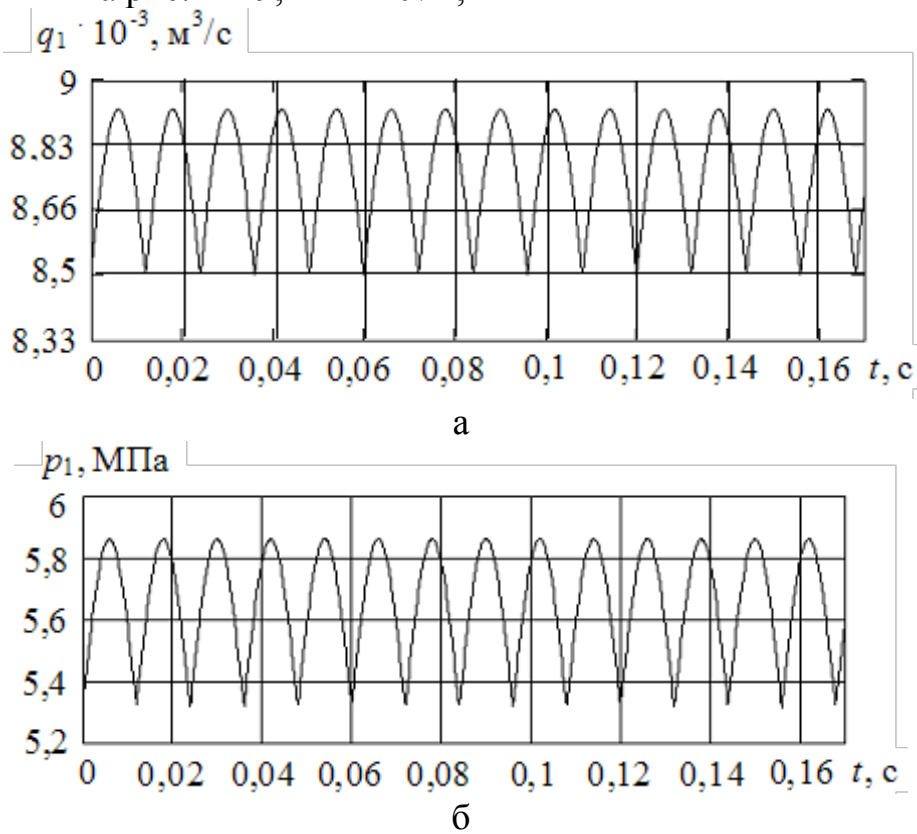


Рис.2. Осцилограми пульсацій на вході в ГПТ: а – витрати; б – тиску

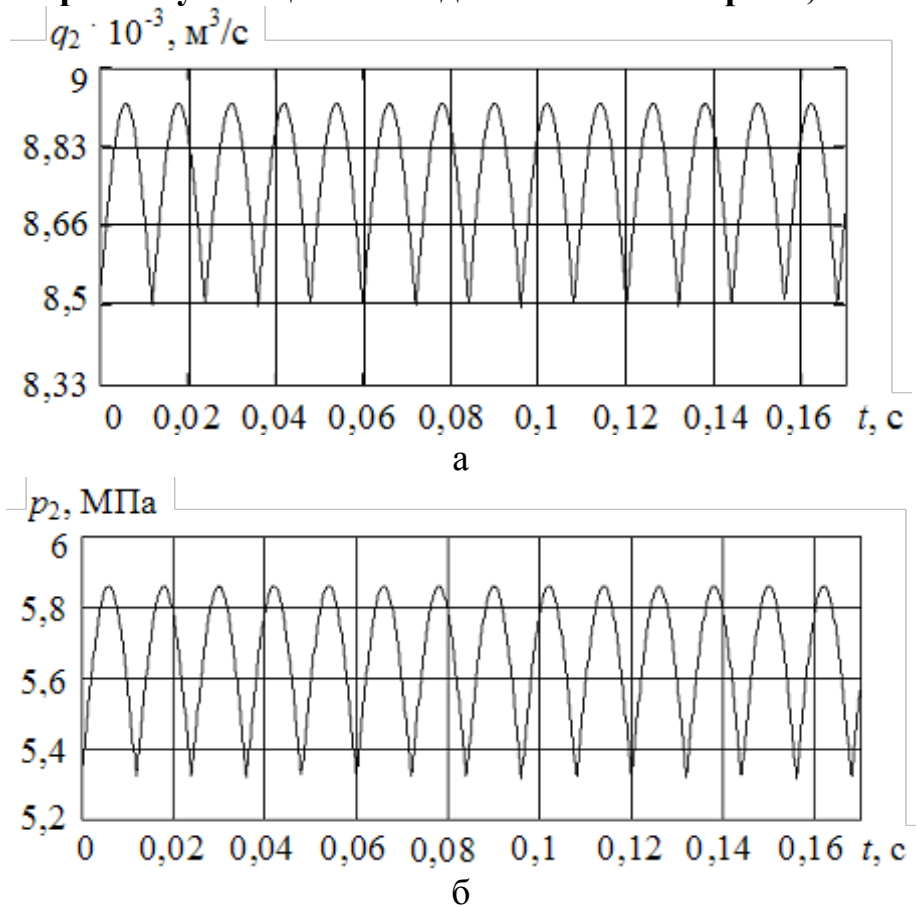
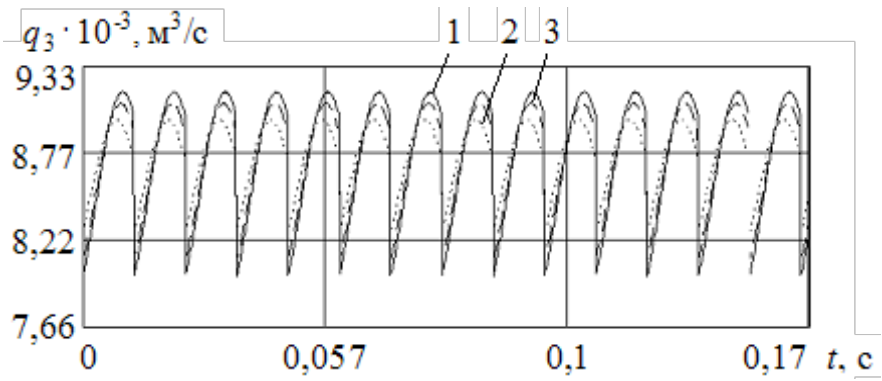
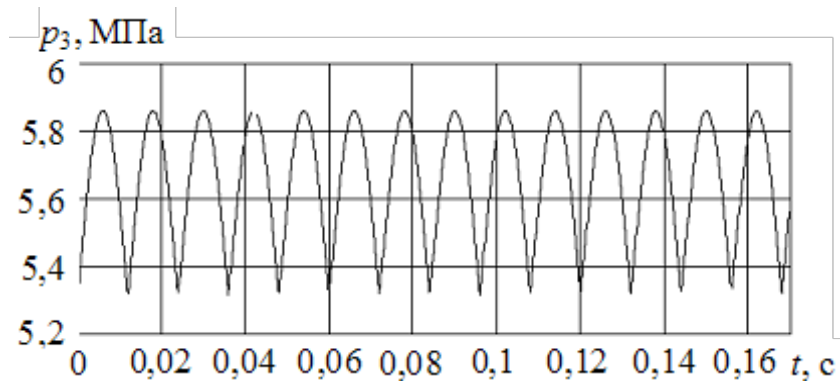


Рис.3. Осцилограми пульсацій у входному патрубку 2: а – витрати; б – тиску



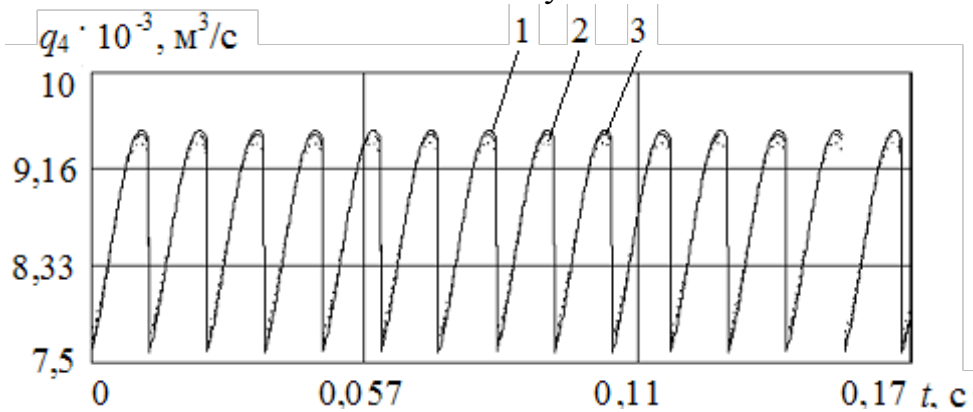
а



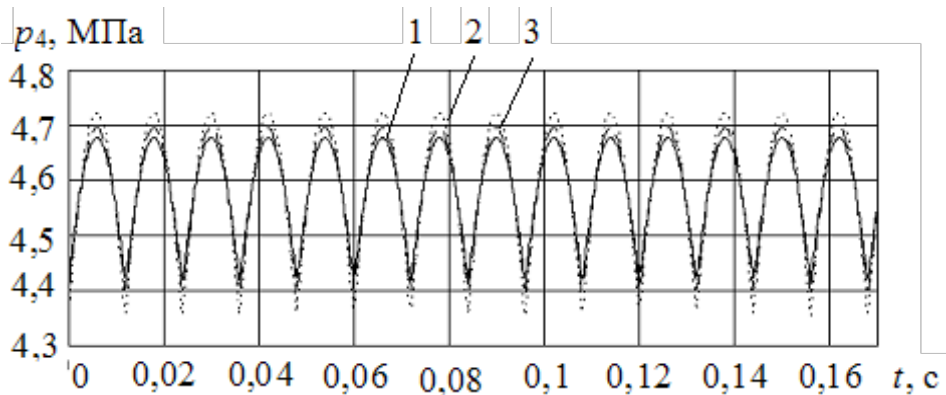
б

Рис.4. Осцилограми пульсацій у входній частині центральної труби 4: а – витрати;

б – тиску



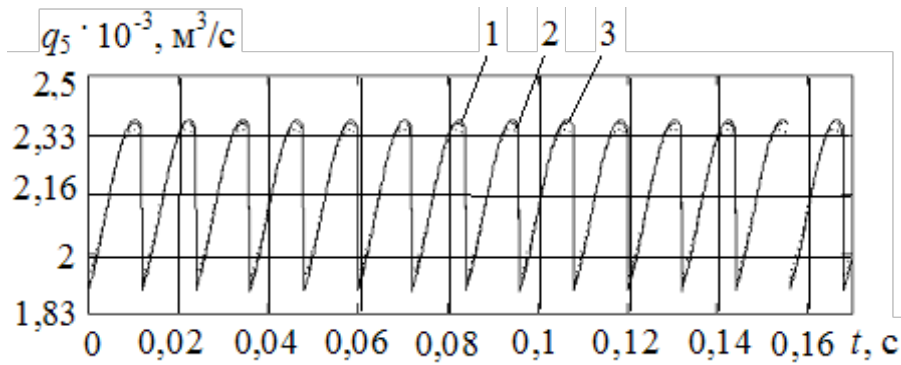
а



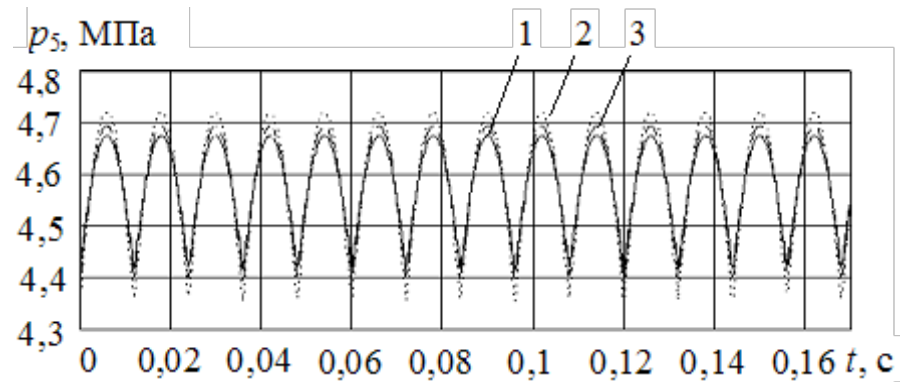
б

Рис.5. Осцилограми пульсацій у проточній камері 8: а – витрати; б –

тиску

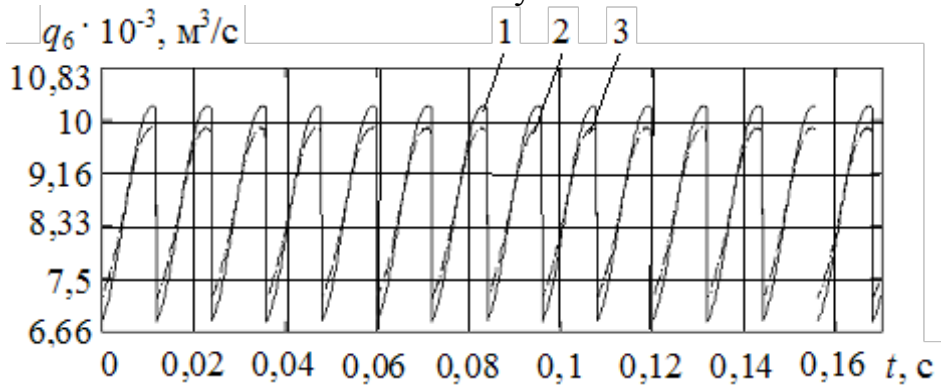


а

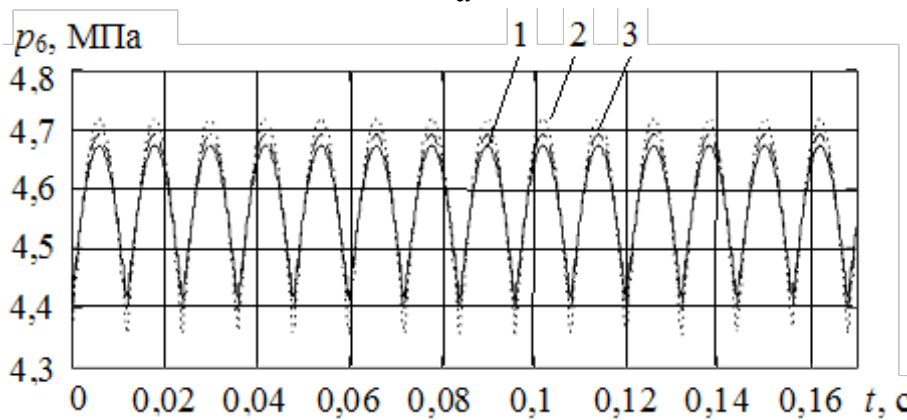


б

Рис.6. Осцилограми пульсацій у коротких звужених патрубках 11: а – витрати; б – тиску

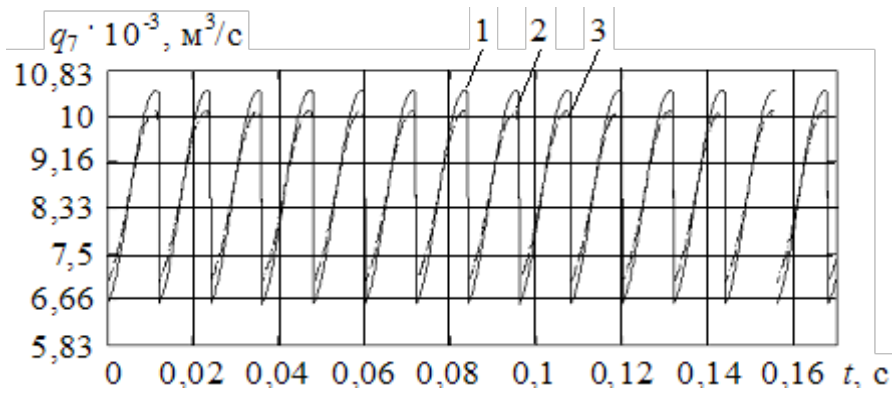


а

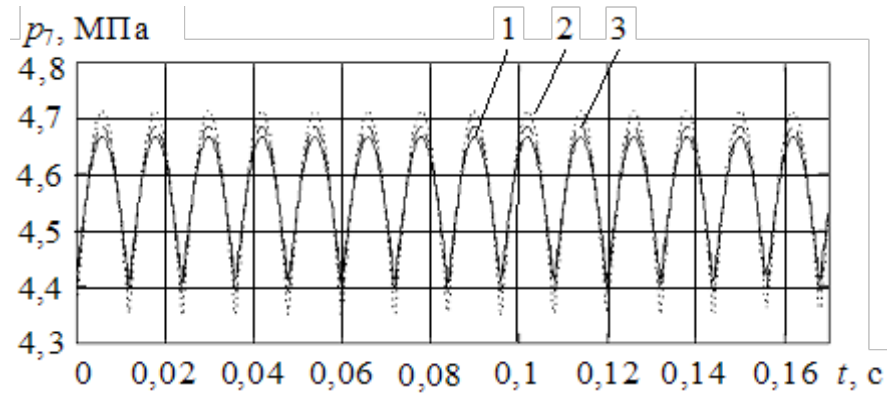


б

Рис.7. Осцилограми пульсацій у проточній камері 9: а – витрати; б – тиску

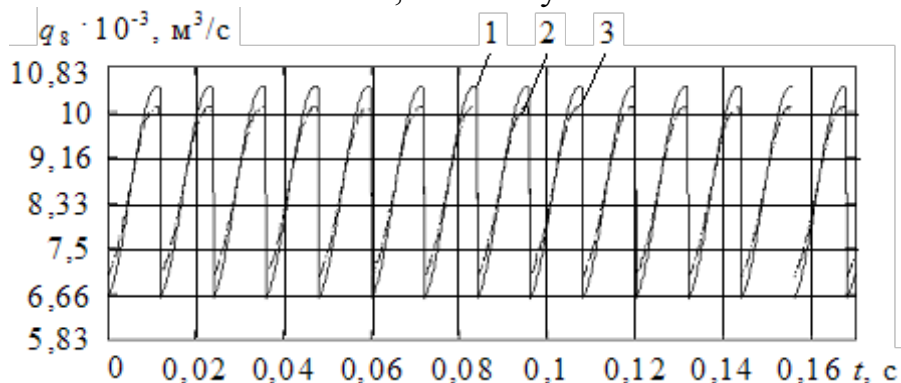


а

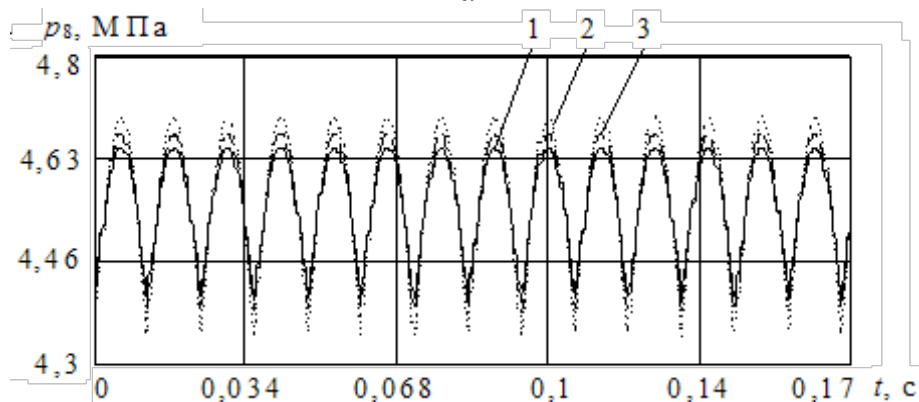


б

Рис.8. Осцилограми пульсацій у вихідній частині центральної труби 4: а – витрати; б – тиску



а



б

Рис.9. Осцилограми пульсацій у вихідному патрубку 3: а – витрати; б – тиску згідно рис. 1, у якого замість сільфонів розміщені циліндри, об'єм яких дорівнював об'єму сільфонів – криві 2 на рис. 2 – 9, ГПТ – №2, та ГПТ згідно рис. 1, у якого відсутні сільфони – криві 3 на рис. 2 – 9, ГПТ – №3.

З осцилограм пульсацій витрати та тиску (рис. 2 – 9) знаходили амплітуди їх пульсацій (табл. 1) та аналізували вплив окремих конструктивних елементів на робочий процес в ньому. Відмітимо, що виходячи з закону збереження енергії, збільшення або зменшення амплітуд пульсацій тиску та витрати РР в ГПТ знаходяться в протифазах. Найбільша зміна амплітуд пульсацій відбувається в камері 8, де пульсації витрати підсилюються за рахунок зміни об'єму камери, який обумовлено зміною об'єму сильфона з частотою, що дорівнює частоті пульсацій РР в ГПТ.

Таблиця 1. Амплітуди пульсацій тиску та витрати в патрубках та камерах ГПТ

Елемент ГПТ	Вхід ГПТ		вхідний патрубок 2		вхідна частина центральної труби 4		камера 8	
	№ ГПТ	Δp_1 $\cdot 10^5$, Па	Δq_1 $\cdot 10^{-5}$, м ³ /с	Δp_2 $\cdot 10^5$, Па	Δq_2 $\cdot 10^{-5}$, м ³ /с	Δp_3 $\cdot 10^5$, Па	Δq_3 $\cdot 10^{-5}$, м ³ /с	Δp_4 $\cdot 10^5$, Па
1	5,446	3,55	5,457	2,578	5,444	7,07	2,062	11,5
2	5,446	3,55	5,457	2,578	5,444	4,37	3,683	10,06
3	5,446	3,55	5,457	2,578	5,444	6,034	3,015	10,99

Продовження таблиці 1.

Елемент ГПТ	звужені патрубки 11		камера 9		вихідна частина центральної труби 4		Вихід ГПТ	
	№ ГПТ	Δp_5 $\cdot 10^5$, Па	Δq_5 $\cdot 10^{-5}$, м ³ /с	Δp_6 $\cdot 10^5$, Па	Δq_6 $\cdot 10^{-5}$, м ³ /с	Δp_7 $\cdot 10^5$, Па	Δq_7 $\cdot 10^{-5}$, м ³ /с	Δp_8 $\cdot 10^5$, Па
1	2,595	2,87 6	2,588	20,43	2,599	23,3	2,504	23,34
2	3,677	2,51 8	3,671	16,31	3,673	18,17	3,6	18,22
3	3,008	2,74 6	3,004	16,14	3,01	18,79	2,935	18,84

Значний вплив на робочий процес в ГПТ мають внутрішні патрубки 11 та вихідна частина центральної труби 4, де пульсації витрати підсилюються за рахунок зміни об'єму камери, який обумовлено зміною об'єму сильфона в ній. Зауважимо, що вплив конструктивних параметрів ГПТ на робочий процес в даній статті нами не розглядається. Таким чином, можна констатувати, що розміщення в проточних камерах ГПТ сильфонів дозволяє інтенсифікувати робочий процес в ньому.

Ефективність ППТ оцінювали коефіцієнтом гасіння $k_T(t) = \Delta p_{\text{вх}}(t) / \Delta p_{\text{вих}}(t)$, де $\Delta p_{\text{вх}}(t)$ і $\Delta p_{\text{вих}}(t)$ – відповідно амплітуди пульсацій тиску на вході та виході ГПТ (рис. 10).

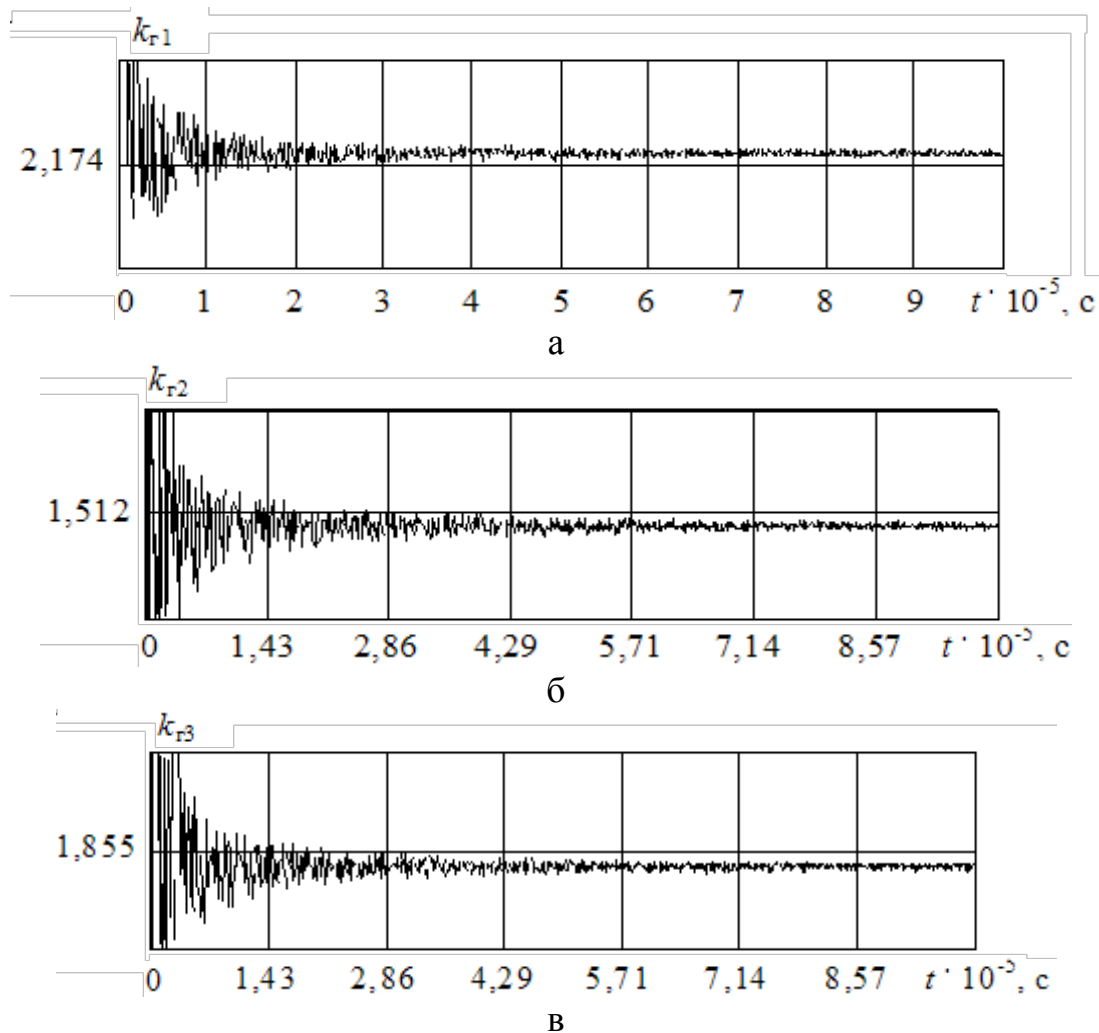


Рис.10. Зміна в часі коефіцієнта гасіння ГПТ: а – №1; б – №2; в – №3

Потужність на вході і виході в ГПТ розраховували за формулою $N_i(t) = \int_0^t p_i(t)q_i(t)dt$, де i – номер ГПТ; t – час, за який розраховували потужність. Приймали, що $t = 0,05$ с. Аналіз втрат потужності між ГПТ, що досліджувалися, показав, що максимальна різниця між ними становить 0,27 % (табл. 2). Таким чином, їх енергетичні характеристики практично однакові.

Таблиця 2. Коефіцієнт гасіння та потужність на вході і виході ГПТ

№ ГПТ	Середнє значення коефіцієнта гасіння	Потужність, кВт		Втрати потужності, %
		на вході	на виході	
1	2,175	1,487	1,190	19,97
2	1,513	1,487	1,194	19,70
3	1,855	1,487	1,192	19,83

Висновки. Вперше отримані осцилограми пульсацій витрати і тиску в каналах та камерах ГПТ, за якими зроблено аналіз робочого процесу в ньому та встановлено вплив сильфонів, розміщених в його проточних камерах, на коефіцієнт

гасіння. Розрахунковим шляхом доведено ефективність використання в об'ємних гідроагрегатах розробленого ГПТ з автоматичним підстроюванням параметрів.

Вперше встановлено, що коефіцієнт гасіння ГПТ має пульсуючий характер, причому частота його коливань значно перевищує частоту пульсацій тиску РР в гідроагрегаті, а амплітуда становить 10^{-12} від його усталеного значення. На початку перехідного процесу в гідроагрегаті амплітуда коливань коефіцієнта гасіння ГПТ різко зростає та за 40 мікросекунд приймає значення, яке характерне усталеному режиму.

Список літератури: 1. Андренко П.М., Клітної В.В., Свинаренко М.С. Аналіз конструктивних особливостей гідравлічних гасників пульсацій тиску // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005. – № 24. – С. 3 – 10. 2. Скворчевський Е.А., Усатий А.П. Гасители колебаний давления в гидравлических системах // Весник машиностроения, 1980, №4 – С. 14 – 15. 3. Kollek W., Kudzma Z., Rutanski J. Mozliwosci skutecznego tlumienia halasu ukladem filtrow akustycznych. // V Konferencja naukowo-techniczna: Rozwoj budowy eksploatacj I badan maszyn roboczych ciezkich. Zakopane, 1992. – S. 203 – 208. 4. Шорин В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах. – М.: Машиностроение, 1980. – 368 с. 5. Андренко П.М., Дмитрієнко О.В. Математичні моделі і розрахункові дослідження гідравлічних гасителів і підсилювач тиску // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2004. – №5 (11). – С. 88 – 93. 6. Патент 82336 Україна, МПК F16L 55/04. Гаситель колебаний рідини в трубопроводі. на винахід / Андренко П.М., Білокін І.І., Стеценко Ю.М., Свинаренко М.С.; заявник і патентовласник СП ЗАТ “ХЕМЗ – ІРЕС” / – № 200504242; заявл. 04.05.2005; опубл. 10.04.2006. Бюл. № 7. 7. П. Андренко, М. Свинаренко. Математическая модель гидравлического гасителя пульсаций давления с автоматической подстройкой параметров // MOTROL: Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – 2009. – Vol. 11b. – P. 42 – 49.

Поступила в редколлегию 15.01.2010

УДК 621.225

П.М. АНДРЕНКО, д-р. техн. наук, проф., НТУ “ХПІ”
О.В. ДМИТРИЄНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ “ХПІ”
І.П. ГРЕЧКА, асистент, НТУ “ХПІ”

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОАГРЕГАТУ ВЕРСТАТУ ДЛЯ НАМОТУВАННЯ ОБМОТОК ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Наведено результати багатокритеріальної оптимізації параметрів гідроагрегата верстата для намотування обмоток електродвигунів, побудованого з використанням розробленого гідророзподільника з гідравлічним вібраційним контуром.

Results of multicriteria optimization of parameters of the hydrounit of the machine tool for winding of windings of the electric motors, constructed with use with the hydroallocator with an hydraulic vibrating contour are resulted.

Вступ

Технічний рівень і подальший розвиток гідроагрегатів (ГА) верстатів для намотування обмоток електродвигунів нерозривно пов'язані з поліпшенням їх динамічних характеристик. В першу чергу, це обумовлено нездатністю існуючих ГА таких верстатів забезпечити постійну силу натягу дроту, яка, суттєвим чином,

впливає на коефіцієнт заповнення пазу, від якого залежить потужність та ККД електродвигуна.

Аналіз літературних джерел дозволив встановити, що підвищення показників технічного рівня, ефективності функціонування і експлуатації ГА намотувальних верстатів, лежить в площині удосконалення гідравлічної системи керування та використання дроселюючого гідророзподільника (ГР) з гідравлічним керуванням з суттєво поліпшеними статичними і динамічними характеристиками. Нами розроблено схемне рішення такого ГА [1], гідравлічна система керування якого містить ГР з гідравлічним вібраційним контуром (ГВК) та гідравлічний зворотний зв'язок по тиску. Аналіз робіт, [2 – 4] і інших, присвячених питанню розрахунку та проектування ГА та ГР показав, що в них не розглядається багатокритеріальна оптимізація їх конструктивних і робочих параметрів.

Мета статті – підвищення показників технічного рівня ГА намотувальних верстатів (забезпечення високої точності підтримання сили натягу дроту і швидкодії) шляхом багатокритеріальної оптимізації його конструктивних і робочих параметрів.

Багатокритеріальна оптимізація параметрів ГА, збудованого з використанням ГР з ГВК

Вибір методу оптимізації. На підставі проведеного нами в [5] порівняльного аналізу методів багатокритеріальної оптимізації, для оптимізації ГА верстату для намотування обмоток електродвигунів нами вибрано метод дослідження простору параметрів. Характерною особливістю якого є систематичний перегляд багатомірних областей, в яких, в якості пробних точок, використовуються точки рівномірно розподілених послідовностей (ЛП_τ – послідовностей) [6]. Особливістю використання даного методу при багатокритеріальній оптимізації ГА верстату для намотування обмоток електродвигунів є те, що спочатку треба провести оптимізацію ГВК з метою визначення діапазону змін його коефіцієнта підсилення. Для зменшення трудомісткості процесу оптимізації, по можливості, критерії необхідно представляти звичайними рівняннями. А перед початком діалогу в процесі оптимізації, необхідно отримати таблицю досліджень, яка містить частину пробних точок.

Загальні зауваження. Для зменшення собівартості ГА при його проектуванні, використовували серійні об'ємний насос, гідромотор (ГМ) та запобіжний клапан. Тому основну увагу при проведенні оптимізації приділяли вибору конструктивних параметрів розробленого ГР з ГВК та робочих параметрів ГА. Розглядали ГА верстату для намотування обмоток електродвигунів, математична модель якого наведена в [7]. Вважали, що діаметри трубопроводів та з'єднувальних каналів є рівними між собою, їх вибір здійснюється згідно відомих методик, наприклад з роботи [8]. Так як витрата через ГВК є зневажливо мала, втрати тиску в ньому не розглядали. Довжину трубопроводу, який з'єднує ГВК з проточним каналом, довжину трубопроводу проточного каналу та інших трубопроводів, вважали заданими та приймали постійними. Попередньо задавалися типом робочої рідини та її газомістом. Амплітуду, частоту пульсацій тиску робочої рідини та тиск у ГА визначали на попередніх етапах розрахунку.

Багатокритеріальна оптимізація параметрів ГА. Оптимізацію виконували

за допомогою розробленої програми, яка здійснює складання таблиць досліджень, перевірку виконання функціональних та критеріальних обмежень, вибір оптимальної точки. Визначали конструктивні параметри ГР, які при відомих робочих параметрах ГА забезпечать високу точність підтримання тиску в ньому, швидкодію і чутливість до керуючих гідравлічних сигналів.

Вибирали варійовані параметри ГА та ГР з ГВК:

$x_1 = r_2 = d_2 / 2$ – радіус внутрішнього патрубку ГВК (мм);

$x_2 = l_2$ – довжина внутрішнього патрубку ГВК (мм);

$x_3 = R = D / 2$ – радіус камери ГВК (мм);

$x_4 = L$ – довжина камери ГВК (мм);

$x_5 = d_3$ – діаметр золотника ГР (мм);

$x_6 = d_y$ – діаметр каналу ГР (мм);

$x_7 = x_3$ – переміщення золотника ГР (мм);

$x_8 = x_{\text{осц}}$ – амплітуда осциляції золотника ГР (мм);

$x_9 = \delta$ – радіальний зазор (мкм);

$x_{10} = n_{\text{ГМ}}$ – частота обертання вала ГМ (1/с);

$x_{11} = c_{\text{пр}\Sigma}$ – сумарна жорсткість пружин (Н/см);

$x_{12} = m$ – маса золотника ГР та пов'язаних з ним елементів (кг);

$x_{13} = \Delta p_{\text{Г}}$ – перепад тиску на торцях золотника ГР (кг/см²);

$x_{14} = N_{\text{ГМ}}$ – потужність на валу ГМ (кВт).

Приймали наступні параметричні обмеження:

$$\begin{aligned}
 & 0,08 \text{ мм} \leq x_7 \leq 0,15 \text{ мм}; & 0,12 \text{ кг} \leq x_{12} \leq 0,30 \text{ кг}; \\
 & 2 \text{ мм} \leq x_1 \leq 8 \text{ мм}; & 0,006 \text{ мм} \leq x_8 \leq 0,012 \text{ мм}; & 0,1 \text{ МПа} \leq x_{13} \leq 3 \text{ МПа}; \\
 & 20 \text{ мм} \leq x_2 \leq 45 \text{ мм}; & 3 \text{ мкм} \leq x_9 \leq 20 \text{ мкм}; & 0,6 \text{ кВт} \leq x_{14} \leq 4 \text{ кВт}. \\
 & 10 \text{ мм} \leq x_3 \leq 20 \text{ мм}; & 15 \text{ 1/с} \leq x_{10} \leq 25 \text{ 1/с}; \\
 & 50 \text{ мм} \leq x_4 \leq 130 \text{ мм}; \\
 & 8 \text{ мм} \leq x_5 \leq 12 \text{ мм};
 \end{aligned} \tag{1}$$

Обмеження (1) виділяли у просторі параметрів D , n -мірного простору, паралелепіпед $\Pi = \{ X / (1) \}$, де – X точка (шукане рішення, вектор шуканих параметрів ГА), яка відповідає набору параметрів (x_1, \dots, x_{14}) . В подальшому розглядали точки X , параметри яких задовольняють обмеженням (1).

За функціональні обмеження математичної моделі ГА приймали вирази, що визначають його працездатність та взаємозв'язки параметрів між собою. А саме:

– функція обмеження довжини внутрішнього патрубку ГВК (в ньому повинен сформуватися усталений рух робочої рідини)

$$l_2 \geq 5 r_2, l_2 \leq 0,7 L;$$

– функція обмеження діаметра внутрішнього патрубку ГВК

$$d_2 \leq d_y;$$

– функцію відсутності застою золотника ГР

$$\left| P_{\text{пр}\Sigma}^*(x_3) + P_{\text{рпр}}^*(x_3) - P_{\text{тр}}(\dot{x}_3) \right| < \left| P_{\text{осц}}(t) + P_{\text{кер}}(t) \right| < \left| P_{\text{пр}\Sigma}^*(x_3) + P_{\text{рпр}}^*(x_3) + P_{\text{трп}}(\dot{x}_3) \right|,$$

де $P_{\text{пр}\Sigma}^*(x_3)$ – сумарна сила пружин ГВК; $P_{\text{рпр}}^*(x_3)$ – сила рідинної пружини; $P_{\text{тр}}(\dot{x}_3)$ – сила тертя; $P_{\text{осц}}(t)$ – сила під дією якої відбувається осциляція золотника ГР; $P_{\text{кер}}(t)$ – сила керування; $P_{\text{трп}}$ – сила тертя спокою; * позначені значення сумарної сили механічної та рідинної пружин, розраховані для значень x_3 , при яких відбулася зупинка золотника ГР;

– функцію обмеження швидкості осциляції золотника ГР, для зменшення сили тертя

$$\dot{x}_{\text{осц}} \leq \frac{2 P_{\text{Г}} k_{\text{Гко}}}{\mu k_{\text{Т}} k_{\text{тр}}},$$

де $P_{\text{Г}}$ – радіальна сила, що діє на золотник ГР; $k_{\text{Гко}}$ – коефіцієнт, значення якого знаходиться в межах 0,19 – 0,21; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості робочої рідини; $k_{\text{тр}}$ і $k_{\text{Т}}$ – відповідно, коефіцієнт, що характеризує положення золотника в гільзі та коефіцієнт тертя, які розраховувалися за залежностями, наведеними в [9];

$$\frac{8D_{\text{пр}}K_w}{\pi d_{\text{пр}}^3} P(t) \leq \tau_{\text{пркр}}(t),$$

– функцію міцності пружини

де $D_{\text{пр}}$ і $d_{\text{пр}}$ – відповідно діаметри середній і дроту пружини;

$K_w = \frac{4c-1}{4c-4} + \frac{0,615}{c}$, де $c = \frac{D_{\text{пр}}}{d_{\text{пр}}}$; $P(t)$ – сила, під дією якої відбувається деформація пружини; $\tau_{\text{пркр}}(t)$ – критичне дотичне напруження пружини;

– функцію виключення співудару витків пружини $v_{\text{пр0}} \leq v_{\text{пркр}}$,

де $v_{\text{пр0}}$ і $v_{\text{пркр}}$ – відповідно швидкість і критична швидкість переміщення торця пружини;

– функцію обмеження амплітуди осциляції золотника ГР $x_{\text{осц}} \leq 0,1x_3$;

– функцію стійкості ГР $a_1a_2a_3 - a_0a_3^2 - a_1^2 > 0$,

де a_i – коефіцієнти передаточної функції ГР, які визначали за залежностями наведеними в [10];

– функцію обмеження частоти обертання вала ГМ $n_{\text{ГМ}}(t) \leq n_{\text{ГМ ном}}$;

– функцію обмеження потужності на валу ГМ $N_{\text{ГМ}}(t) \leq N_{\text{ГМ ном}}$;

– функцію відсутності автоколивань в ГА $\tau_{\text{кр}} \geq \frac{1}{V_{\text{р}}} \sqrt{\frac{V}{E_{\text{пр}} \cdot J}}$,

де $\tau_{\text{кр}}$ – критерій герметичності; $V_{\text{р}}$ – робочий об'єм ГМ; V – об'єм робочої рідини в магістралі живлення; $E_{\text{пр}}$ – приведений модуль пружності робочої рідини; J – приведений до вала ГМ момент інерції зовнішнього навантаження.

При проведенні оптимізації особливу увагу приділяли вибору амплітуди осциляції золотника ГР, так як при великій амплітуді осциляції ГР втрачає роботоспроможність, збільшується витрата, обумовлена осциляцією, зростає

імовірність виникнення кавітації у його проточній порожнині.

Сформулювали критерії якості ГА, значення яких бажано зменшити.

1. Величина, зворотна коефіцієнту підсилення тиску в ГВК k_{Π} ,

$$\Phi_1(X) = \frac{1}{k_{\Pi}}, \rightarrow \min.$$

2. Похибка відтворення ГР керуючого сигналу та сигналу осциляції (точність ГР)

$$\Phi_2(X) = \tilde{p}_2 = \tilde{p}_{2 \text{ кер}} + \tilde{p}_{2 \omega}, \rightarrow \min,$$

де $\tilde{p}_{2 \text{ кер}}$ – похибка відтворення керуючого сигналу; $\tilde{p}_{2 \omega}$ – похибка від сигналу осциляції.

3. Квадратична інтегральна оцінка, яка характеризує наближення траєкторії перехідного процесу ГР до бажаної

$$\Phi_3(X) = J_T = \int_0^{\infty} [p_2(t)]^2 dt + T^2 \int_0^{\infty} [\dot{p}_2(t)]^2 dt = J + T^2 J', \rightarrow \min,$$

де $\Delta p_2(t) = p_{20} - p_2(t)$; t_p – час регулювання; T – постійна часу експоненти, траєкторію якої приймали в якості бажаної; $J(t)$ і $J'(t)$ – визначали за залежно-

стями, наведеними в [10].

4. Похибка підтримання постійної частоти обертання валу ГМ

$$\Phi_4(X) = \Delta n_{\text{ГМ}}(t) = \frac{\Delta q_{\text{ГМ}}(t)}{q_{\text{дійсн ГМ}}(t)}, \rightarrow \min,$$

де $\Delta q_{\text{ГМ}}(t)$ – витрата через ГМ, внаслідок неточності підтримання тиску в ГА; $q_{\text{дійсн ГМ}}(t)$ – дійсна витрати через ГМ.

5. Похибка підтримання постійною сили натягу дроту

$$\Phi_5(X) = \Delta P_{\text{н}}(t), \rightarrow \min,$$

де $\Delta P_{\text{н}}(t)$ – похибка підтримання постійною сили натягу дроту.

Критеріальні обмеження вибирали на етапі попереднього дослідження клапана, виходячи з фізики процесів, що відбуваються в ГА та забезпечення мінімальних значень усіх критеріїв якості клапана і не пустоти множини допустимих точок в просторі параметрів D .

Приймали, що коефіцієнт підсилення ГВК знаходиться в межах $1 < k_{\Pi} \leq 5$. Таким чином, виключали з розгляду резонансну область та область його непрацездатності. Обмежували масу ГВК, порівнюючи її з масою серійного гідроапарата, з аналогічним діаметром умовного проходу, значення яких наведено у статті [11] $m \leq m_{\text{ср}}$, де m і $m_{\text{ср}}$ – відповідно, маса ГВК і середня маса гідроапарата прямої дії, з аналогічним діаметром умовного проходу.

Для стійкої роботи ГМ обмежували частоту обертання його вала $n_{\text{ГМ}}$

$$n_{\text{ГМ min}} \leq n_{\text{ГМ}}(t) \leq n_{\text{ГМ ном}}.$$

Так як, значення амплітуди осциляції золотника ГР є важливим параметром, що забезпечує бажану якість його характеристик, доцільно розглядати її не як функціональне обмеження, а як псевдокритерій, який бажано мати найменшим у

вибраному варіанті.

Задавали вихідні дані:

$d_2 = 8 \text{ мм}$	$l_2 = 30 \text{ мм};$	$D = 15 \text{ мм};$
$L = 80 \text{ мм}$	$d_3 = 10 \text{ мм};$	$d_y = 8 \text{ мм};$
$x_\zeta = 0,1 \text{ мм};$	$x_{\text{осц}} = 0,01 \text{ мм};$	$\delta = 10 \text{ мкм};$
$n_{\text{ГМ}} = 15 \text{ 1/с};$	$c_{\text{пр}\Sigma} = 70 \text{ Н/мм};$	$m = 0,12 \text{ кг};$
$\Delta p_T = 0,1 \text{ МПа};$	$N_{\text{ГМ}} = 4 \text{ кВт};$	$E_{\text{ст}} = 210,7 \cdot 10^3 \text{ МПа};$
$v = 28 \text{ сСт};$	$\rho = 900 \text{ кг/м}^3;$	$E = 1,2 \cdot 10^3 \text{ МПа};$
$p_{\text{сис}} = 6,3 \text{ МПа};$	$k = 1,4;$	$\rho_{\text{ст}} = 7700 \text{ кг/м}^3;$
$l_1 - l_2 = 7,5 \text{ мм};$	$d_{\text{пр}} = 1,5 \text{ мм};$	$D_{\text{пр}} = 14 \text{ мм};$
$n_{\text{пр}} = 4;$	$m_0 = 0,001;$	$\mu_{\text{ГР}} = 0,7;$
$k_{\text{ТКО}} = 0,2;$	$k_{\text{ТР}} = 0,1;$	$L_3 = 30 \text{ мм};$
$V_{0\text{ГМ}} = 11,2 \text{ см}^3;$	$z = 7;$	$l_1 = 18 \text{ мм};$
$d_{\text{шк1}} = 50 \text{ мм};$	$C_p = 1,15$	$\eta_{\text{ГМ}} = 0,85;$
$C_\alpha = 1$	$C_i = 1,13$	$C_l = 0,8$

Знаходження оптимальних параметрів ГА проводили в три етапи, у відповідності до алгоритму методу дослідження простору параметрів. Задача вирішувалася за допомогою розробленої програми в пакеті прикладних програм. В результаті розв'язання оптимізаційної задачі отримували таблицю досліджень. За результатами розрахунків було взято $N = 1024$ пробних точок. Функціональним обмеженням задовольняли $N' = 235$ точок, що свідчить про ефективність відбору ($\gamma = \frac{N'}{N} = 0,23$) [6]. Знаходили точки, в яких задовольняються

критеріальні обмеження. Згідно з рекомендаціями [6], для отримання оптимальних параметрів ГА, збудованого з використанням ГР з ГВК, покращували значення оптимальної точки, отриманої на першому етапі. За початкові, брали значення параметрів точки, яка максимально відповідала критеріям якості.

У результаті оптимізації були визначені параметри ГА верстату для намотування обмоток електродвигунів із ГР з ГВК (табл. 1), в яких критерії якості мають мінімальне, максимальне та середнє значення. Оптимальні параметри в табл. 1 нами виділено. Мінімальне значення похибки підтримання постійної сили натягу дроту отримане при мінімальній похибці підтримання частоти обертання ГМ та похибці відтворення ГР керуючого сигналу та сигналу осциляції. При цьому, квадратична інтегральна оцінка ГР дещо перевищує своє середнє значення, що свідчить про те, що розроблений ГР має швидкодію, яка на порядок вище, від необхідної для забезпечення постійної сили натягу дроту. А значення коефіцієнту підсилення наближене до 2, що свідчить про те, що ГВК працює в області, далекій від резонансу. Точність підтримання ГМ постійної сили натягу дроту становить 0,01%. Зауважимо, що ця похибка не враховує нерівномірність витрати на виході об'ємного ГМ, яка обумовлена його конструктивним виконанням. Теж са-

ме можна сказати й про похибку підтримання постійною частоти обертання валу ГМ.

Таблиця 1 – Виборка із таблиці досліджень параметрів ГА верстату для намотування обмоток електродвигунів із ГР з ГВК

№ ТОЧКИ	Параметри ГА										Критерії якості				
	x_1 , мм	x_2 , мм	x_3 , мм	x_4 , мм	x_5 , мм	x_7 , мм	x_8 , мм	x_{10} , 1/с	x_{11} , Гс/мм	x_{12} , Г	Φ_1	$\Phi_2 \times 10^4$, Па	Φ_3	Φ_4 , 1/с	Φ_5 , Г
1	2,697	21,1	12,49	85,55	11,69	0,093	0,009	15,06	3,682	38,7	0,522	0,598	0,734	0,032	1,196
10	3,26	23,44	17,18	103	8,816	0,13	0,008	19,66	2,995	30,26	0,348	0,876	0,092	0,038	2,117
16	2,357	40,48	18,8	97,58	9,98	0,141	0,011	15,26	3,218	49,78	0,453	1,007	0,160	0,041	2,611
20	2,006	38,82	17,4	129,1	10,96	0,145	0,007	21,1	2,507	40,28	0,604	1,092	0,293	0,043	2,95
45	3,213	26,76	17,72	82,42	8,035	0,137	0,011	16,61	3,792	184,2	0,338	1,378	0,035	0,048	4,181
47	3,787	26,71	14,7	102,9	9,152	0,144	0,009	23,35	3,85	145,8	0,25	1,405	0,054	0,048	4,301
52	3,277	37,82	17,91	101,7	11,98	0,092	0,007	19,9	3,852	87,48	0,275	1,509	0,595	0,050	4,788
55	3,863	27,96	19,09	89,53	11,43	0,091	0,008	24,24	3,516	80,1	0,236	1,553	0,588	0,051	4,998
69	2,088	22,8	15,85	117,4	10,29	0,133	0,006	17,24	3,167	99,87	0,829	1,715	0,145	0,053	5,8
83	3,617	43,73	19,8	129,7	8,016	0,102	0,006	20,51	4,192	280	0,214	1,874	0,035	0,056	6,626
112	4,607	37,36	12,55	107,6	10,48	0,15	0,009	24,1	3,968	218,5	0,153	2,219	0,102	0,061	8,54
130	3,494	20,12	13,51	126,2	10,85	0,121	0,008	16,46	4,198	222,2	0,322	2,562	0,164	0,065	10,59
132	3,307	33,4	11,94	113,7	11,22	0,11	0,006	24,89	3,261	129,4	0,289	2,596	0,32	0,066	10,8
137	3,998	39,12	19,97	75,7	10,2	0,136	0,009	21,44	3,764	254,4	0,192	2,756	0,121	0,068	11,82
174	2,627	34,28	10,11	63,98	9,363	0,143	0,011	17,82	2,956	295	0,424	3,63	0,116	0,078	17,87
180	3,242	29,67	19,18	94,69	11,27	0,08	0,007	23,63	3,317	161,8	0,317	3,782	0,673	0,079	19
198	2,814	27,25	12,29	101,5	10,99	0,084	0,008	20,1	3,518	235,9	0,427	4,748	0,507	0,089	26,73
204	4,713	33,01	15,22	102,4	9,035	0,12	0,007	19,11	2,292	251,7	0,154	5,034	0,151	0,092	29,18
218	2,785	41,83	12,79	102,7	9,836	0,121	0,007	20,41	2,438	288,9	0,339	6,319	0,226	0,103	41,04
234	2,275	35,36	19,91	124,9	11,66	0,096	0,008	23,8	2,229	209,6	0,528	9,414	1,171	0,125	74,63

Оптимальним значенням критеріїв якості ГА відповідають: радіус і довжина внутрішнього патрубка, радіус камери ГВК, частота обертання валу ГМ і маса

золотника ГР, які знаходяться біля мінімальних значень; довжина камери ГВК і амплітуда осциляції золотника ГР знаходяться біля своїх середніх значень; діаметр, переміщення золотника ГР і сумарна жорсткість пружин знаходяться біля своїх максимальних значень. Отримані в результаті вирішення оптимізаційної задачі значення оптимальних параметрів ГА дозволяють вже на попередньому етапі проектування проводити їх раціональний вибір, завдяки чому зменшується час на проектування. Зауважимо, що отримані в результаті вирішення оптимізаційної задачі значення діаметру золотника ГР, діаметру його каналів, радіусу внутрішнього патрубку і радіусу камери ГВК, у відповідності до рекомендацій роботи [12], слід вибирати з ряду, що рекомендується. Слід відзначити, що маса ГВК, не перевищує середню масу серійного гідроапарату з аналогічним діаметром умовного проходу.

Висновки

Розроблена методика багатокритеріальної оптимізації ГА, збудованого з використанням ГР з ГВК та гідравлічним зворотним зв'язком по тиску. Вперше визначені оптимальні робочі і конструктивні параметри ГА, які дозволяють підвищити показники його технічного рівня та ефективність використання.

Проведений кореляційний аналіз між критеріями оптимізації, для призначеного діапазону зміни параметрів, дозволили встановити відсутність лінійного зв'язку між парами критеріїв та парами – критерій і параметр (добуток параметрів). Це дозволяє стверджувати, що вибрані критерії оптимізації є незалежні і їх використання для оптимізації розробленого ГА є цілком правомірним.

Список літератури: 1. Патент України на корисну модель № 45554. Гідроагрегат верстата для намотування обмоток електродвигунів F15B 9/00. *Андренко П.М., Білокінь І.І, Гречка І.П., Стеценко Ю.М.* заявка у 2009907102 від 07.07.2009. Бюл. №21. опублікований 10.11.2009. 2. *Навроцкий К.Л.* Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов: Учебник. – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с. 3. *Попов Д.Н.* Оценка эффективности и оптимальное проектирование гидроприводов / *Д.Н. Попов* // Вестник машиностроение. – 1986. – № 9. – С. 20 – 23. 4. *Цуханова Е.А.* Динамический синтез дроссельных устройств гидропривода / *Е.А. Цуханова.* – М.: Наука, 1978. – 254 с. 5. Методичні вказівки до практичних занять на тему “Складання структурно-функціональних схем та графів причинно-наслідкових зв’язків гідроагрегатів” та “Оптимізація режимів технічного обслуговування і діагностування гідроприводів машин” з курсу “Діагностика і контроль гідропневмоприводів” / *П.М. Андренко, О.В. Дмитрієнко, О.Б. Панамарева, М.С. Свинаренко.* – Харків. НТУ “ХП”, 2008. – 36 с. 6. *Соболь И.М.* Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / *И.М. Соболь, Р.Б. Статников.* – М.: Наука, 1981. – 107 с. 7. *Андренко П.М.* Динаміка гідроагрегата, збудованого з використанням гідроапаратів з НГВК / *Андренко П. М., Гречка І. П., Дмитрієнко О. В.* // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2007. – № 3(109). Ч. 2. – С. 6 – 13. 8. *Абрамов Е.И.* Элементы гидропривода: [справочник] / *Абрамов Е.И., Колисниченко К.А., Маслов В.Т.;* – К.: Техника, 1977. – 320 с. 9. *Данилов Ю.А.* Аппаратура объемных гидроприводов: Рабочие процессы и характеристики / *Ю.А. Данилов, Ю.Л. Кирилловский, Ю.Г. Колтаков.* – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с. 10. *Гречка І. П.* Математична модель гідророзподільника з новим вібраційним контуром / *Гречка І. П.* // Автоматизація виробничих процесів. – 2004. – Вип. 2(19). – С. 16 – 23. 11. *Андренко П.М.* Визначення параметрів гідроприводів, у яких доцільно використовувати пасивні гасники пульсацій і гідроапарати з вібраційною лінеаризацією / *П.М. Андренко, О.В. Дмитрієнко, М.С. Свинаренко* // Механіка та машинобудування. – 2004. – № 2. – С. 13 – 21. 12. *Андренко П. М.* Проектування гідроприводів із використанням гідроапаратів із вібраційною лінеаризацією / *Андренко П. М., Гречка І.П.* //

УДК 615.471

Н.И. КУБЫШКИНА, аспирант, НТУ «ХПИ»

СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АППАРАТОВ ДЛЯ ГАЛЬВАНИЗАЦИИ И ЛЕКАРСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОФОРЕЗА, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

Представлені результати порівняльного аналізу характеристик електротерапевтичних апаратів для гальванізації та лікарського електрофорезу різних поколінь. Аналіз проводився шляхом експериментальних досліджень характеристик цих апаратів

The results of the comparable analysis of descriptions of electrotherapeutic devices for galvanization and medicinal electrophoresis of different generation are presented. An analysis was conducted by experimental researches of these devices

Благодаря высокой эффективности лечебного действия электрического тока на организм человека, относительной простоте методик лечения, растущей потребности практической медицины в немедикаментозных методах лечения, электротерапия с успехом применяется в медицинской практике. Постоянный электрический ток применяется для проведения процедур гальванизации и лекарственного электрофореза. Под влиянием такого тока в тканях организма происходят сложные биофизические и биохимические процессы, возникают различные физиологические реакции, вызывающие терапевтические эффекты: противовоспалительный, лимфодрунирующий, гипоалгезирующий, седативный (на аноде), сосудорасширяющий, миорелаксирующий, секреторный (на катоде) [1, 2].

В настоящее время в медицинских учреждениях Украины эксплуатируется достаточно большое количество электротерапевтических аппаратов для гальванизации и лекарственного электрофореза, как специализированных, так и многофункциональных. Наиболее часто в кабинетах физиотерапии используются такие аппараты как ПОТОК-1, ГР-1М и ГР-2 (для гальванизации полости рта), «НИОН». В последние годы стали появляться аппараты нового поколения: ЭЛЭСКУЛАП, ПОТОК-М, АКСИДИН-ВИТА, ЭЛФОР-ПРОФ, и др. Большое разнообразие аппаратов, представленных на отечественном рынке медицинской техники, не всегда позволяет сделать правильный выбор, основываясь лишь на паспортных данных.

Цель данной работы состоит в сопоставительном анализе аппаратов для гальванизации и лекарственного электрофореза, которые в настоящее время предлагаются к продаже и используются в медицинских учреждениях. Сопоставительный анализ проводился путем экспериментальных исследований характеристик аппаратов с учетом возмущающих факторов, оказывающих влияние на стабильность выходного тока аппарата.

Для проведения экспериментальных исследований были отобраны четыре аппарата: ПОТОК-1, НИОН, ЭЛЭСКУЛАП и АНЭТ-50 ГТ (см. рис. 1). Технические данные аппаратов [3-6] сведены в табл. 1.

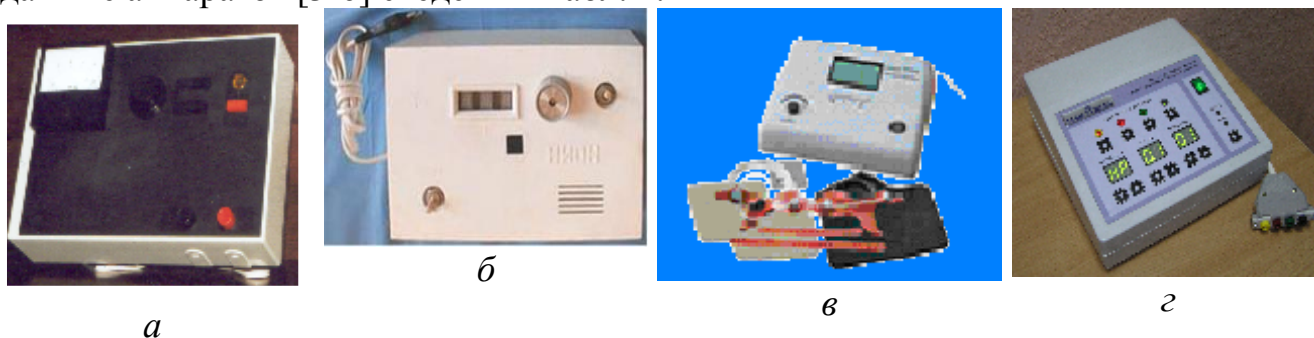


Рис. 1. Электротерапевтические аппараты: ПОТОК-1 (а); НИОН (б); ЭЛЭСКУЛАП (в); АНЭТ-50 ГТ (г)

Процедуры гальванизации и лекарственного электрофореза дозируют по плотности тока (значение силы тока на 1 см² площади прокладки активного электрода) и по продолжительности воздействия. Ток в начале процедуры задается с учетом методики ее проведения и субъективных ощущений пациента, которые определяются чувствительностью кожи, индивидуальной переносимостью тока, полом, возрастом и другими причинами. При этом терапевтическая эффективность процедуры в значительной степени зависит от стабильности тока на всем ее протяжении (допустимое отклонение не более 5 %).

Таблица 1. Технические данные электротерапевтических аппаратов

Название аппарата	ПОТОК-1	НИОН	ЭЛЭСКУЛАП	АНЭТ-50 ГТ
Производитель	Завод электро-медицинской аппаратуры, г. Свердловск, Россия [3]	Николаевское ма-лое предприятие «Черномор», г. Николаев, Украина [4]	ООО «МедТеКо», Москва-Мытищи, Моск. обл., Россия [5]	Фирма «Радмир» ДП АО НИИРИ, г. Харьков, Украина [6]
Год выпуска	1988	1993	2007	2008
Масса, не более, кг	2,5	1,5	3	2
Габаритные Размеры, мм	270×180×100	220×145×85	250×200×100	80×220×220
Потребляемая мощность, ВА	11	10	50	10
Параметры напряжения питания аппарата	220 В, 50 Гц	220 В, 50 Гц	220 В ± 10 %, 50 Гц	220 ± 10 %, 50 Гц.
Коэффициент пульсаций, не более	0,5 %	0,5 %	*	0,5 %
Таймер	отсутствует	отсутствует	есть	есть
Диапазон установки таймера, мин	–	–	(1...99) ±5 %	(1...99) ±3 %
Отображение фактического значения	есть (стрелочный при-	есть (цифровой	нет (отображается за-	есть (цифровой инди-

выходного тока	бор)	индикатор)	данное значение выходного тока	катор)
Поддиапазоны регулирования выходного тока, мА	0-5 0-50	0-5 0-50	0-5 0-10 0-20 0-50 0-80	0,1-5 5-50 (автоматический переход с одного поддиапазона на другой)
Максимальное значение выходного тока, мА (при $R_H=500$ Ом)	50±5	50±5	80	50

Продолжение табл. 1

Название аппарата	ПОТОК-1	НИОН	ЭЛЭСКУЛАП	АНЭТ-50 ГТ
Воздействие импульсным током с потсоанной частотой	отсутствует	отсутствует	отсутствует	есть
Воздействие импульсным током с изменяющейся частотой	отсутствует	отсутствует	отсутствует	есть (четыре сканирующих режима)
Возможность проведения процедур одновременно с тремя и четырьмя электродами	через дополнительное устройство	через дополнительное устройство	через дополнительное устройство	есть
Самодиагностика аппарата	отсутствует	отсутствует	*	есть (при включении и во время проведения процедуры)

* – отсутствуют данные

При проведении процедур гальванизации и лекарственного электрофореза плотность тока может быть определена выражением

$$J = I_{\text{ВЫХ}} / S, \quad (1)$$

где S – площадь активного электрода (величина постоянная),

$I_{\text{ВЫХ}}$ – выходной ток аппарата, который в свою очередь зависит от его выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ и сопротивления $R_{\text{МЭ}}$ межэлектродного участка

$$I_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}} / R_{\text{МЭ}}. \quad (2)$$

Выходное напряжение аппаратов формируется из напряжения питающей сети U_C и, следовательно, находится с ним в некоторой функциональной зависимости

$$U_{ВЫХ} = f(U_C). \quad (3)$$

Таким образом, плотность тока при проведении процедур гальванизации и лекарственного электрофореза является функцией двух переменных

$$J = f(R_{МЭ}, U_C). \quad (4)$$

Относительно первой переменной $R_{МЭ}$ принято считать, что из-за разогревания и увлажнения тела в процессе проведения процедуры сопротивление межэлектродного участка уменьшается [1]. В процессе экспериментальных исследований, проводимых при проведении процедур лекарственного электрофореза по различным методикам, было зафиксировано, что сопротивление межэлектродного участка может изменяться в диапазоне от -36% до $+12\%$ от начального значения. Поскольку исследования были проведены при ограниченном количестве методик и пациентов, было сделано предположение, что диапазон изменения сопротивления межэлектродного участка при воздействии постоянным электрическим током может быть несколько шире [7].

Зависимость выходного тока аппарата от сопротивления его нагрузки называется нагрузочной характеристикой. Исследования нагрузочной характеристики аппаратов проводили при номинальном напряжении питания (220 В) и нескольких начально-установленных значениях выходного тока. Начальные значения тока выбирались одинаковыми для всех аппаратов и равными 0,5; 2; 4,5; 7; 20 и 45 мА. В аппарате ЭЛЭСКУЛАП была дополнительно исследована нагрузочная характеристика при начально-установленном значении выходного тока 75 мА. Сопротивление нагрузки изменяли в пределах от 300 до 600 Ом, что соответствует отклонению от номинального значения (500 Ом) от -40% до $+20\%$. Результаты исследований в виде графиков приведены на рис. 2.

Оценку степени влияния (отклонения) изменения сопротивления нагрузки на выходной ток аппарата, осуществляли по выражению

$$\sigma_I(R_{МЭ}) = \frac{|I_{ВЫХ} - I_{ВЫХ(500)}|}{I_{ВЫХ(500)}} \cdot 100\% \quad (5)$$

где $I_{ВЫХ}$ – выходной ток аппарата при изменении сопротивления нагрузки;
 $I_{ВЫХ(500)}$ – начально-установленное значение выходного тока при сопротивлении нагрузки 500 Ом.

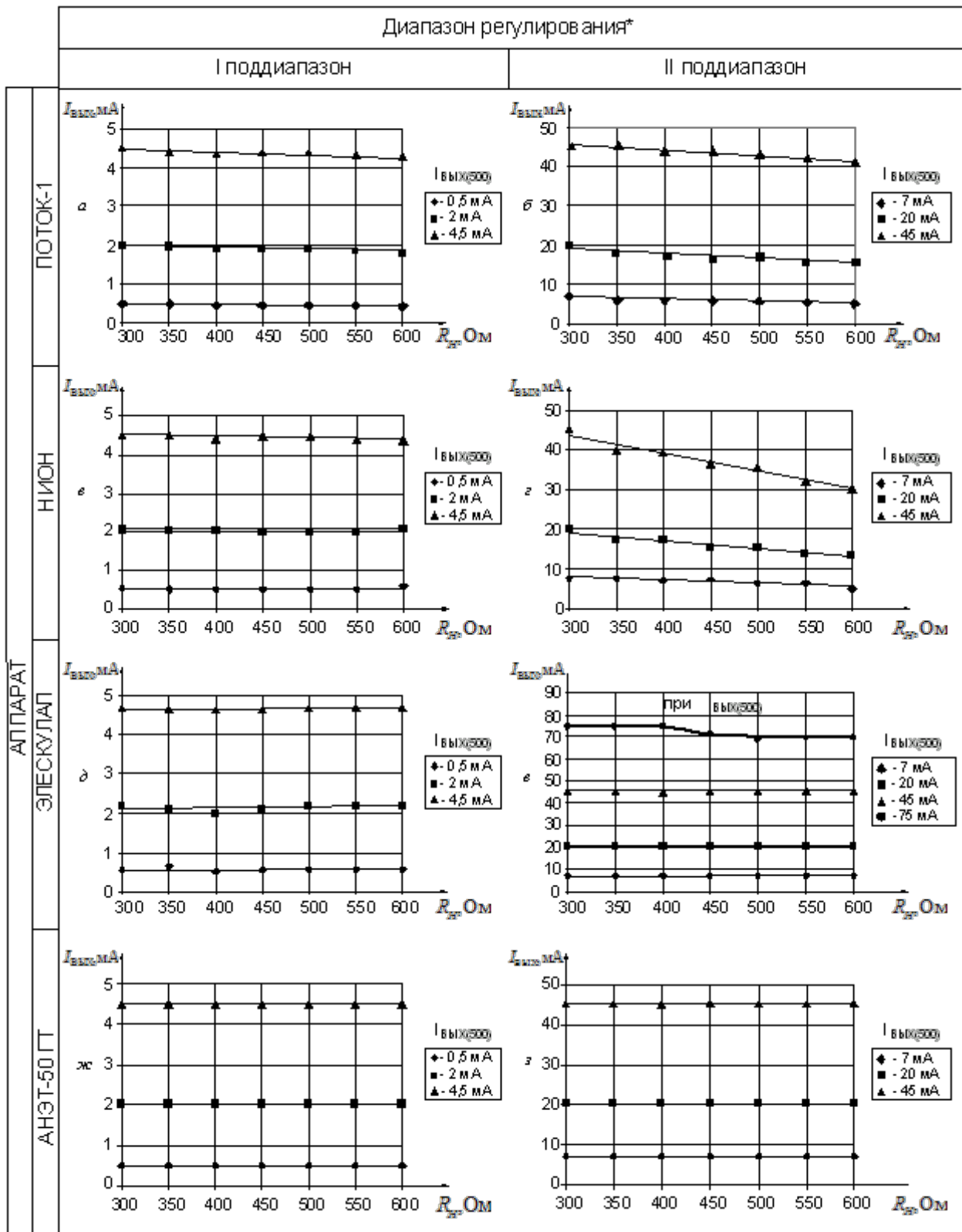
Расчеты отклонений по выражению (5) приведены на рис. 3 в виде столбчатых диаграмм.

Нагрузочные характеристики аппаратов ПОТОК-1 и НИОН в 1-м поддиапазоне значительно лучше («жестче»), чем во 2-м (см. рис. 2, а, в и рис. 2, б, г), поскольку отклонения в 1-м поддиапазоне составляют не более 9% (рис. 3, а, в), а во 2-м – достигают порядка 50% (рис. 3, б, г).

Нагрузочные характеристики аппарата ЭЛЭСКУЛАП во всех поддиапазонах регулирования выходного тока (см. рис. 2, д, е) лучше, чем у аппаратов ПОТОК-1 и НИОН. Отклонения выходного тока здесь не превышают 2%. Ис-

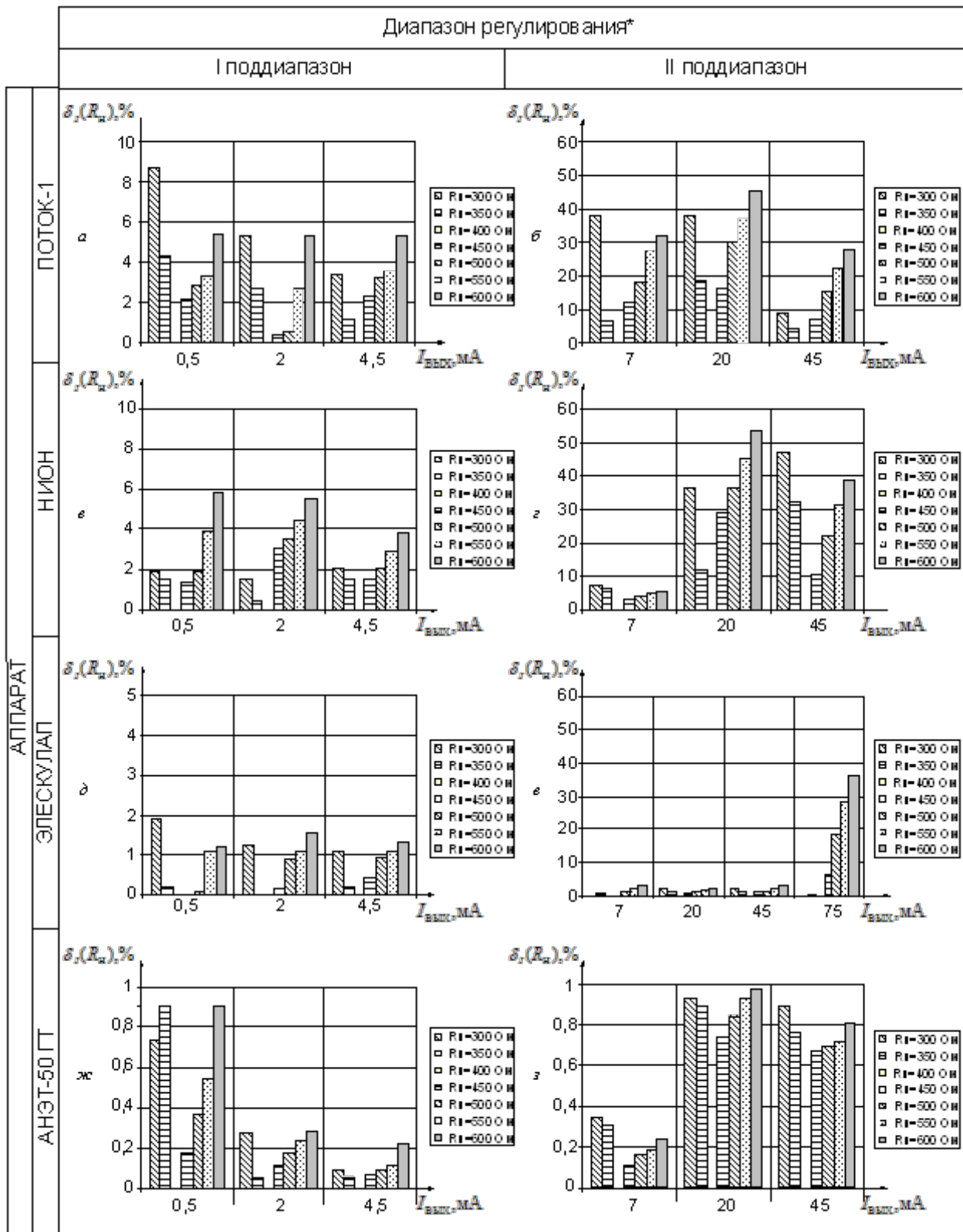
ключение составляет случай с начально-установленным значением выходного тока равным 75 мА (5-й поддиапазон), где отклонение достигает практически 40 % (см. рис. 3, *д, е*).

Судя по результатам исследований нагрузочные характеристики аппарата АНЭТ-50 ГТ являются наиболее «жесткими» при всех начально-установленных значениях выходного тока в обоих поддиапазонах его регулирования (см. рис. 2, *ж, з*). Максимальное отклонение выходного тока составляет не более 1 % (см. рис. 3, *ж, з*).



Нагрузочные характеристики аппарата ЭЛЭСКУЛАП исследовались в 1-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 0,5; 2,0$ и $4,5$ мА, во 2-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 7$ мА, в 3-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 20$ мА, в 4-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 45$ мА и в 5-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 75$ мА.

Рис. 2. Нагрузочные характеристики аппаратов для гальванизации и лекарственного электрофореза



Нагрузочные характеристики аппарата ЭЛЭСКУЛАП исследовались в 1-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 0,5; 2,0$ и $4,5$ мА, во 2-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 7$ мА, в 3-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 20$ мА, в 4-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 45$ мА и в 5-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 75$ мА.

Рис. 3. Оценка влияния изменений сопротивления нагрузки аппаратов для гальванизации и лекарственного электрофореза на их выходной ток

Таким образом, в аппаратах ПОТОК-1 и НИОН степень влияния изменения сопротивления нагрузки аппарата на выходной ток оказывается наибольшей, что, очевидно, вызывает сложности дозирования параметров воздействия во время проведения процедур, при условии существенного изменения сопротивления межэлектродного участка.

Что касается второй переменной – напряжения питающей сети (см. (4)), от которой зависит плотность тока при проведении процедур гальванизации и лекарственного электрофореза, то здесь следует отметить, что нормально допустимые отклонения установившегося напряжения в электросетях, согласно ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах энергоснабжения общего назначения», находятся в диапазоне $\pm 5\%$, а предельно допустимые значения отклонения – в диапазоне $\pm 10\%$.

Для оценки реальных отклонений напряжения питающей сети от номинального значения (220 В) было проведено исследование электрической сети, от которой осуществляется питание аппаратов физиотерапевтического отделения одного из лечебно-профилактических учреждений г. Харькова [8]. Измерения напряжения питающей сети производились с помощью измерителя частоты и напряжения питающей сети ИЧНПС-1МЦ, разработанного в НТУ «ХПИ», и записывались в течение нескольких дней в память персонального компьютера. Результаты измерений напряжения одной из фаз в течение рабочего дня представлены на рис. 4. График приведен для одной из фаз, где были зафиксированы наиболее существенные изменения напряжения питающей трехфазной сети.

Из графика видно, что напряжение питающей сети колеблется в диапазоне от 237В до 264 В.



Рис. 4. Изменения напряжения питающей сети в течение рабочего дня

При анализе изменений напряжения питающей сети во внимание принималось также динамическое отклонение, которое определяли как относительную разность максимального и минимального значений напряжений на интервале проведения процедуры

$$\delta_{\text{ДИН}} = \frac{\left| (U_{\phi \text{ MAX}} - U_{\phi \text{ MIN}}) \right|_{\tau_{\text{ПП}}}}{U_{\text{H}}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где $\tau_{\text{ПП}}$ – продолжительность процедуры, принятая при расчетах равной 20 минутам, что соответствует продолжительности большинства проводимых электроте-

рапевтических процедур;

$U_{\phi MAX}$ – максимальное значение напряжения питающей сети;

$U_{\phi MIN}$ – минимальное значение напряжения питающей сети;

U_H – номинальное значение напряжения питающей сети.

Результаты отклонения напряжения питающей сети от номинального значения в течение каждых 20 минут приведены на рис. 5.

Как видно из графика, отклонение напряжения питающей сети от номинального напряжения практически достигает 10 %. Поэтому анализ изменения выходного тока аппаратов при изменении напряжения питающей сети является не менее важным, чем анализ нагрузочных характеристик.

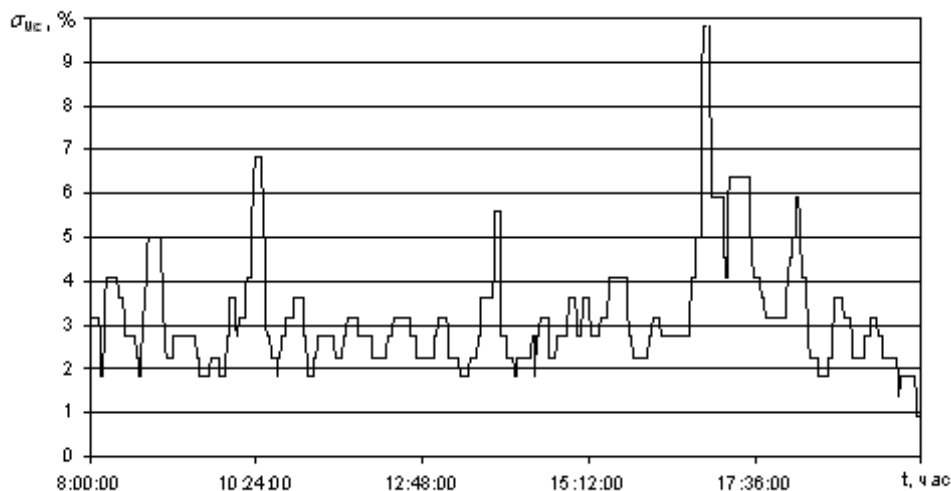


Рис. 5. Отклонение напряжения питающей сети от номинального значения в течение каждых 20 мин. на интервале с 8.00 до 20.00

Исследования влияния изменений напряжения питания на выходной ток аппаратов проводили при номинальном сопротивлении нагрузки (500 Ом) и нескольких начально-установленных значениях выходного тока. При этом напряжение питания меняли в пределах от 198 В до 242 В, что соответствует отклонению на $\pm 10\%$ от номинального значения напряжения питающей сети.

Результаты исследований в виде графиков приведены на рис. 6.

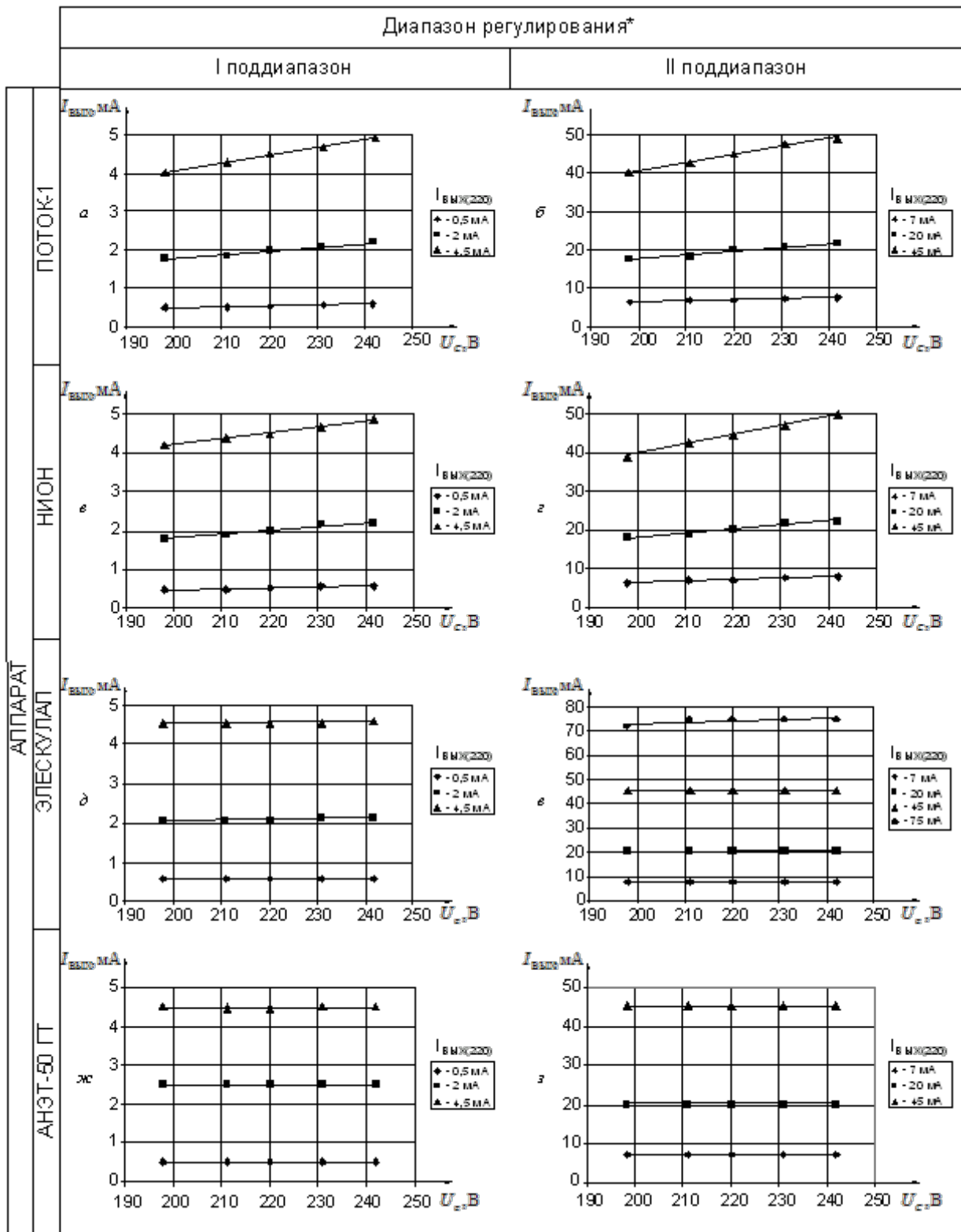
Степень влияния (отклонения) изменений напряжения питания на выходной ток аппарата, определяли по выражению

$$\sigma_I(U_c) = \frac{|I_{ВЫХ} - I_{ВЫХ(220)}|}{I_{ВЫХ(220)}} \cdot 100\% \quad (7)$$

где $I_{ВЫХ}$ – выходной ток аппарата при изменении напряжения питающей сети;

$I_{ВЫХ(220)}$ – начальное значение выходного тока, установленное при номинальном напряжении питания 220 В.

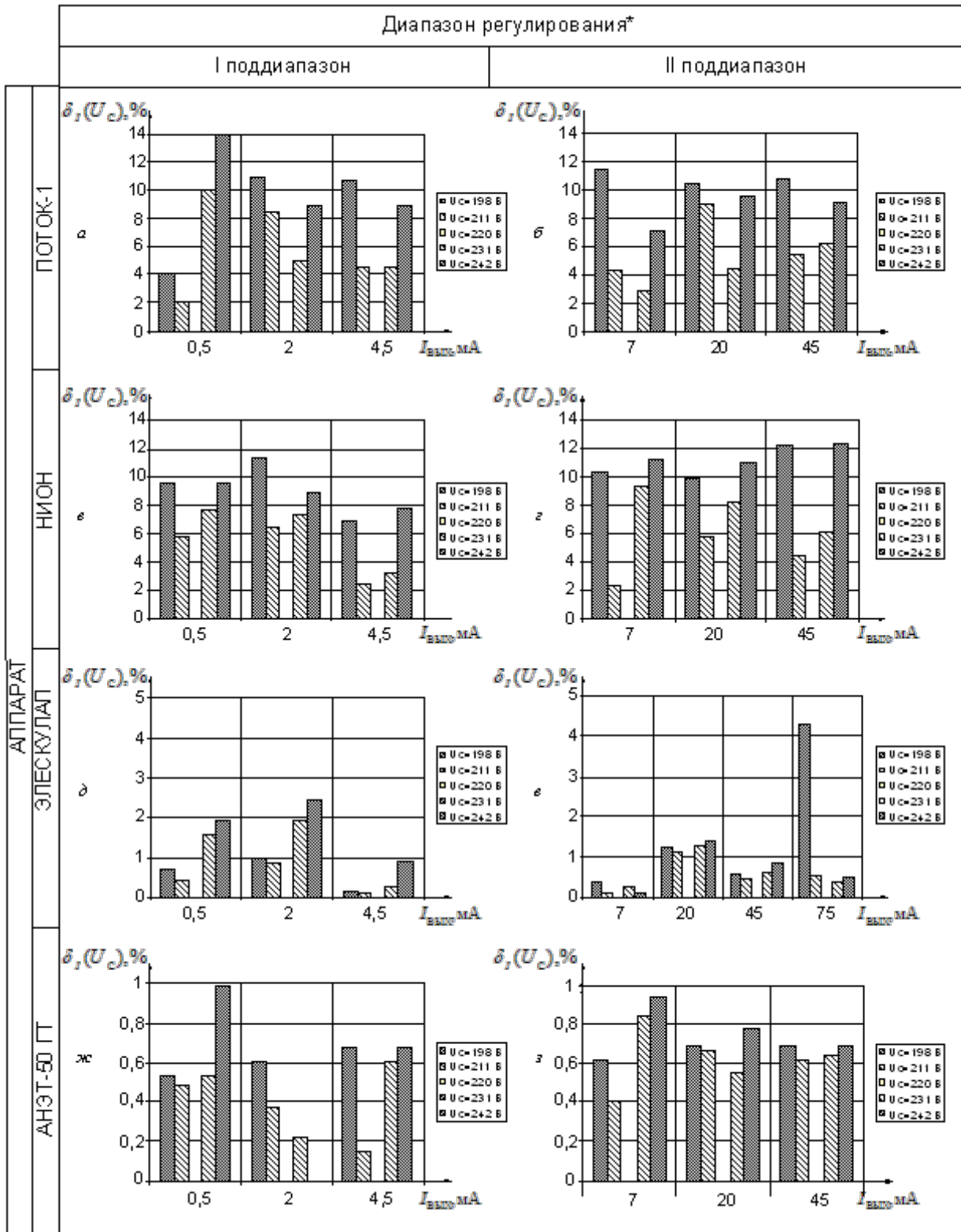
Расчеты отклонений с использованием выражения (7) приведены на рис. 7 в виде столбчатых диаграмм.



*

Нагрузочные характеристики аппарата ЭЛЭСКУЛАП исследовались в 1-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 0,5; 2,0$ и $4,5$ мА, во 2-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 7$ мА, в 3-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 20$ мА, в 4-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 45$ мА и в 5-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 75$ мА.

Рис. 6. Влияние изменений напряжения питания аппаратов для гальванизации и лекарственного электрофореза на их выходной ток



*

Нагрузочные характеристики аппарата ЭЛЭСКУЛАП исследовались в 1-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 0,5; 2,0$ и $4,5$ мА, во 2-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 7$ мА, в 3-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 20$ мА, в 4-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 45$ мА и в 5-м поддиапазоне $I_{ВЫХ(500)} - 75$ мА.

Рис. 7. Оценка влияния изменений напряжения питания аппаратов для гальванизации и лекарственного электрофореза на их выходной ток

Из графиков, приведенных на рис. 6, а-г видно, что выходной ток аппаратов ПОТОК-1 и НИОН увеличивается при увеличении напряжения питания.

При этом отклонения выходного тока в среднем соответствуют отклонениям питающего напряжения.

В аппаратах ЭЛЭСКУЛАП и АНЭТ-50 ГТ изменения напряжения питания практически не оказывают влияния на их выходной ток (см. рис. 6, д-з). Отклонения выходного тока в среднем здесь не превышают 2 % в первом аппарате и 1 % – во втором (рис. 7, д-з, большие отклонения, имеющие место в отдельных случаях, обусловлены, по видимому, погрешностью измерений).

Таким образом, в аппаратах ПОТОК-1 и НИОН на выходной ток оказывают значительное влияние не только изменения сопротивления нагрузки, но и изменения напряжения питания.

Для объяснения результатов экспериментальных исследований аппаратов были проанализированы их схемотехнические решения.

Анализ схемотехнических решений показал, что в аппаратах ПОТОК-1 и НИОН стабилизация выходного тока не предусмотрена. Регулирование выходного тока в цепи пациента осуществляется при помощи потенциометра (ПОТОК-1) или транзистора, управляемого потенциометром (НИОН). Для регулирования выходного тока в 1-м поддиапазоне в выходную цепь этих аппаратов вводится добавочный резистор, что несколько улучшает нагрузочные характеристики.

В аппарате «ЭЛЭСКУЛАП» стабилизация выходного тока (судя по характеру его изменений) осуществляется по принципу двухпозиционного регулятора с дополнительным токоограничением.

В аппарате АНЭТ-50 ГТ стабильность выходного тока обеспечивается за счет стабилизации выпрямленного напряжения и автоматического регулирования тока с двумя контурами обратных связей, позволяющего осуществлять стабилизацию с необходимым быстродействием на всем интервале проведения процедуры.

Сопоставляя результаты экспериментальных исследований аппаратов для гальванизации и лекарственного электрофореза можно сделать следующие выводы:

- нестабильность выходного тока аппаратов ПОТОК-1 и НИОН обусловлена их схемотехническими решениями, в которых стабилизация тока не предусмотрена. К положительным качествам этих аппаратов могут быть отнесены лишь невысокая стоимость и простота, упрощающая их ремонт и эксплуатацию в медицинских учреждениях;

- в аппарате ЭЛЭСКУЛАП практически во всем диапазоне регулирования выходного тока обеспечивается его достаточно высокая стабильность. Исключение здесь составляют нагрузочные характеристики при больших значениях начально-установленных токов и значительных сопротивлениях нагрузки, что обусловлено наличием токоограничения и отсутствием необходимого запаса по регулированию;

- на стабильность выходного тока аппарата АНЭТ-50 ГТ изменения сопротивления нагрузки и напряжения питания влияния практически не оказывают. Дополнительными преимуществами этого аппарата являются возможность осуществлять воздействие импульсным током с постоянной и изменяющейся (сканирующие режимы) частотой, проводить процедуры одновременно с 3-мя и 4-мя

электродами без дополнительных устройств, самодиагностики аппарата по проверке его работоспособности и идентификации аварийных ситуаций;

- стабильность выходного тока электротерапевтического аппарата, а также автоматическое ограничение продолжительности процедуры являются необходимыми условиями для строгого дозирования воздействия при гальванизации и лекарственном электрофорезе.

Список литературы: 1. Клиническая физиотерапия / Оржешковский В.В., Волков Е.С., Демердюк И.А. и др.; под ред. В.В. Оржешковского. – К.: Здоровья, 1984. – 448с. 2. Боголюбов В.М., Пономаренко Г.Н. Общая физиотерапия: Учебник. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Медицина, 1999. – 432 с. 3. Аппарат для гальванизации и лекарственного электрофореза «ПОТОК-1». Паспорт ТВЗ.555.004 ПС. – Свердловск, 1988. – 20 с. 4. Аппарат для гальванизации и лекарственного электрофореза «НИОН». Паспорт 656447.001 ПС. – Николаев, 1993. – 15 с. 5. <http://www.medgro.com.ua>. Аппарат для гальванизации и лекарственного электрофореза «ЭЛЭСКУЛАП». 6. Аппарат для гальванизации и лекарственного электрофореза «АНЭТ-50 ГТ». Паспорт 941514.001 ПС – Харьков, 2008 – 17 с. 7. Гура Ю.Н., Кубышкина Н.И. Изменение сопротивления межэлектродного участка при проведении процедур лекарственного электрофореза // Применение лазеров в медицине и биологии. Материалы XXXI Международн. научн.-практ. конф. – Харьков, 2009. – С. 159-161. 8. Анализ влияния изменений напряжений питающей сети на выходной ток электротерапевтических аппаратов / Кипенский А.В., Король Е.И., Кубышкина Н.И. // Нові медичні технології в клінічній та курортній практиці. Матеріали науково-практичної конф. 20-22 травня 2004 р. – Київ, 2004. – С. 158-160.

Поступила в редколлегию 13.02.2010

УДК 744.083.74 + 621.74

А. Г. ЖУРИЛО, к.т.н., доц., НТУ «ХП»

Д. Ю. ЖУРИЛО, інженер, НТУ «ХП»

ПОБУДОВА ДЕЯКИХ МАШИНОБУДІВНИХ КРЕСЛЕНИКІВ ПРИ КРЕСЛЕННІ ЕЛЕМЕНТІВ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ

В статті наведено дані щодо графічного нанесення елементів ливарної технології на існуючий кресленик машинобудівної деталі. Розглянуто приклади зображення стрижнів, елементів ливникової системи, припусків на механічну обробку, які зображують на креслениках різними кольорами. Проведено аналіз елементів кресленика, які зображуються різними кольорами.

The article provides data on the application of graphic elements on the existing casting technologies kreslenyuk machine parts. Examples of the image core elements luvnykovoyi system, machining allowances, which are depicted in different colors kreslenyakah. The analysis kreslenyuka elements that are displayed in different colors

В практиці креслярсько - конструкторської документації досить поширено виконання елементів ливарної форми на копії кресленика деталі. Їх часто використовують на попередніх стадіях проектування, коли треба визначати серійність виробів, спосіб отримання виливків, визначити припуски на механічну обробку, отвори, які виливають, тощо. В існуючій літературі по машинобудівному кресленню та технології ливарної форми практично не розглядається дане питання, а це приводить до того, що зображення елементів ливарної форми часто кресляться не за вимогами стандарту, а так, як вважає технолог. Крім того, ГОСТ 2.423-73

ЄСКД «Правила выполнения чертежей элементов литейной формы и отливки» має декілька помилок, пов'язаних з технологічністю отримання виливків, наприклад, рис. 6 і 8; хибних посилань, наприклад, п. 1.5.4; застарілих посилань на ГОСТи, наприклад, п. 1.5.7; помилкового розташування деталі на головному вигляді, наприклад, рис. 27; відсутності ліній перетину поверхонь, наприклад, рис. 2; тощо. Таким чином, виконання таких креслеників має певні труднощі, що виникають при кресленні елементів ливарної технології.

Насамперед, це пов'язано з тим, що ГОСТ 2.423-73 ЄСКД став бібліографічною рідкістю, а також з тим, що на початку 2000 –х років у вказаний ГОСТ були внесені поправки, які, хоч і не суперечать початковій редакції стандарту, ускладнюють виконання креслеників з ливарною технологією.

Як, відомо, будь-який кресленик, у широкому розумінні, являє собою модель, що відбиває ту або іншу сторону предметів, явищ, процесів зовнішнього світу. Кресленик служить засобом фіксації і передачі думки. З цього погляду він є особливою мовною формою, причому такою, котра не може бути замінена мовою слів. Причина полягає в більшій конкретності кресленика в порівнянні з поняттями, вираженими словесно. Ця властивість, крім того, дає можливість прямо обслуговувати за допомогою кресленика так звані довербальний (позамовний) ступінь свідомості або, простіше кажучи, сферу почуттєвого та зорового сприймання й уяви.

Креслення елементів ливарної технології має свої, властиві лише цим типам креслеників, відмінності від звичайного ортогонального кресленика.

По-перше, виконання креслеників ливарної технології на відміну від звичайного кресленика виконуються практично без використання автоматизації креслення. (І досить ще немає програми, за допомогою якої можна було б наносити елементи ливарної технології на вже існуючий кресленик машинобудівної деталі, якщо, звичайно, кресленик самої деталі не виконувався на цьому ж підприємстві за допомогою САПР).

По-друге, такі кресленики виконують не лише чорним кольором, а застосовують ще й синій кольор – для виконання ливарних стрижнів та червоний – для виконання припусків на механічну обробку, ливникової системи та отворів, що отримують механічною обробкою, а не виливанням. Це й спричиняє деякі складнощі, особливо у початківців, при виконанні креслеників з нанесенням на них ливарної технології.

Прикладом може бути переріз деталі, зображеної на рис. 1.

Беручи на увагу ту обставину, що у даній статті приклад наведеного кресленика, звичайно, виконано чорним кольором, а в оригіналі кресленика присутні ще й синій та червоний кольори, зробимо аналіз зображень з використанням кожного кольору окремо.

Частини кресленика, що зображують чорним кольором. Крім копії самої машинобудівної деталі, яка, звичайно виконана чорним кольором, на розніманні майбутньої форми за допомогою стрілок та буквених покажчиків наведено дані щодо орієнтування виливка у формі. Таким чином буквами «В» та «Н» вказано верх та низ майбутньої ливарної форми, напрямок яких додатково вказано відповідними стрілками. Букви «МФ» вказують на те, що рознімання моделі співпадає

з розніманням ливарної форми. У протилежному випадку вказують лише букви «М», або «Ф». (Раніше, до 1972 року, на креслениках писали «РМФ» - «рознімання моделі та форми»).

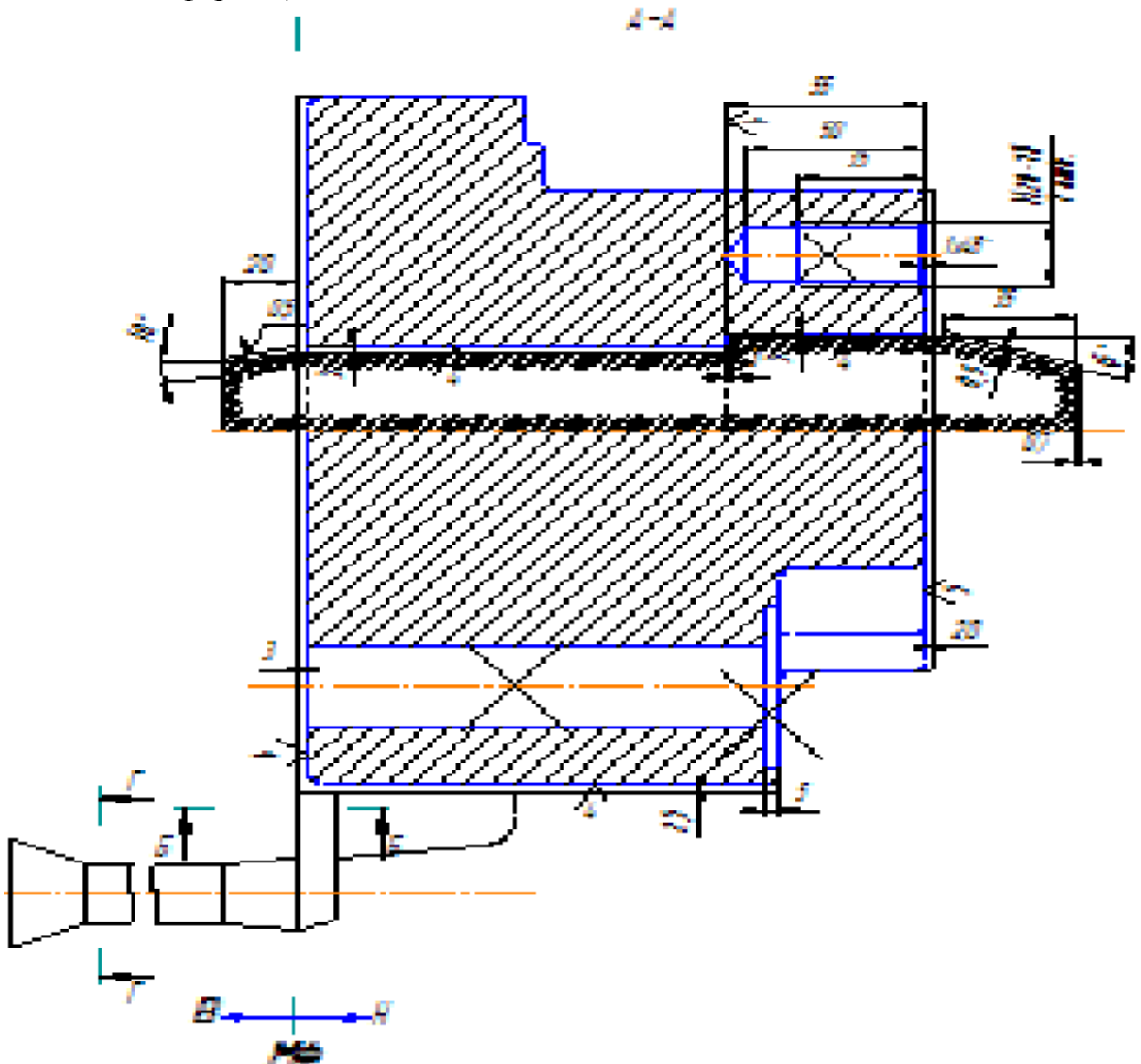


Рис. 1. Приклад графічного нанесення елементів ливарної технології на машинобудівну деталь.

Взагалі, з точки зору технологічності ливарної технології деталь розміщують так, щоб найвідповідальніша частина її розташовувалась у нижній напівформі. Це зв'язано з тим, що усі неметалеві включення, які присутні в металі (шлак, уламки ливарної форми, оксиди металу, тощо), підіймаються догори при кристалізації металу. Тому, як правило, найбільший припуск на механічну обробку призначають на верхній частині виливка з метою подальшого механічного видалення неметалевих включень, газових пор та інших дефектів виливка, що з'являються при кристалізації металу. Припуск - надлишок металу на поверхні виливка, що віддається механічною обробкою. Величина припуску призначається відповідно до ГОСТ 26645 - 85 і залежить від способу лиття, виду сплаву, серійності виробництва, класу точності виливка і т.д.

Інколи чорним кольором зображують елементи ливникової системи, яку розраховують за допомогою чисельних способів, діаграм, номограм, і т.д. Чорним же кольором також виконують чисельні допоміжні написи – технічні умови та технічні вимоги, від’ємні частини моделей, місця установки газоутворюючих патронів, місця взяття проб, тощо.

Частини кресленника, що зображують синім кольором. Синім кольором традиційно зображують стрижень та його знаки у відповідності до масштабу кресленника. У відповідності до вимог ГОСТ 2.423-73 ЄСКД «Правила выполнения чертежей элементов литейной формы и отливки» стрижені при наявності їх більше одного позначають буквами «ст.» та порядковими номерами, наприклад, *ст. 5*. Контури стриженів та їх знаків треба наносити на мінімальному числі зображень, забезпечуючи при цьому уявлення про контури, розташування стриженів та розміри знаків. Треба звернути увагу на штрихування стриженів в їх перерізах. На відміну від загальноприйнятого в креслярській практиці штрихування металевих та неметалевих деталей, штрихування стриженів виконується не по всій площині перерізу, а лише по периметру контурних ліній. Довжина ліній штриховки при цьому складає 3..30 мм в залежності від габаритних розмірів стриженя. Інколи на кресленнику додатково зображують зазори знаків стриженя та його уклони при установці його до форми у відповідності до ГОСТ 3606-80.

Крім того, на кресленнику часто зображують напрямок набивки стриженя та рознімання стрижневого ящика. При кресленні стриженя та його елементів, їх зображують в масштабі кресленника суцільною тонкою лінією. Незважаючи на те, що припуски на механічну обробку зображують червоним кольором, зазор між стрижнем та порожниною деталі, який і створює припуск на механічну обробку порожнин деталі, звичайно червоним кольором не виділяють.

Частини кресленника, що зображують червоним кольором. Крім припусків на механічну обробку, червоним кольором зображують отвори, що виконують механічною обробкою (свердленням). Такі отвори перекреслюють олівцем червоного кольору (часто від руки), показуючи тим, що цей отвір свердлять, а не виливають. Припуски на механічну обробку також зображують олівцем червоного кольору у відповідності до максимального габариту вилівка, серійності його випуску, матеріалу, з якого відливають виріб, тощо. Розмір припусків на механічну обробку вказують як звичайний лінійний розмір.

Крім того, олівцем червоного кольору також зображують елементи ливникової системи у відповідності до масштабу кресленника – стояк, шлаковловлювач, живильники. (Такий елемент ливникової системи, як зумпф наводять дуже рідко, що пов’язано з тим, що він не є стандартизованим елементом ливарної форми). На кресленнику виконують перерізи основних елементів ливникової системи, приклад якого наведено на рис. 2.



Рис. 2. Приклад графічного виконання перерізів основних елементів ливникової системи.

На відміну від вимог ГОСТ 2.306-68 щодо правил нанесення штриховки на перерізи, перерізи основних елементів ливникової системи виконують без штриховки. Це пов'язано з тим, що звичайно штрихують «тіло» фігури, яка попадає в січну площину, а ливникова система виконана умовно, як система каналів, які лише будуть заповнені розплавленим металом.

Крім вказаних елементів ливарної форми червоним кольором виконують додаток при виконанні, наприклад, сталюого лиття, який також позначають словом «додаток» з порядковим номером додатка; ливарні холодильники; усадочні ребра, проби та технологічні приливи; жеребейки та інші елементи форми, що видаляються при механічній обробці деталі.

В першій графі основного надпису кресленика обов'язково роблять надпис «виливок», причому надпис виконують чорним, або червоним кольором.

Висновки

В ГОСТі 2.423 – 73 та в існуючій літературі по машинобудівному кресленню і технології ливарної форми практично не розглядаються питання нанесення елементів ливарної технології на копію машинобудівної деталі. Це приводить до того, що зображення елементів ливарної форми часто кресляться не за вимогами стандарту, а так, як вважає технолог.

Нанесення елементів ливарної технології на існуючу копію машинобудівної деталі має свої, властиві лише цим типам креслеників, відмінностям від звичайного ортогонального кресленика. Це насамперед пов'язано з використанням не одного чорного, а ще й синього та червоного кольорів при виконанні кресленика; особливостям нанесення штрихування на елементи ливарної форми, які не підпорядковані ГОСТ 2.306-68 і часто виконуються також різними кольорами, а в деяких випадках взагалі не штрихуються.

Таким чином нанесення елементів ливарної технології на існуючу копію машинобудівної деталі потребує певного досвіду. Це ускладнюється тим, що у традиційних курсах «Нарисна геометрія та інженерна графіка» і «Машинобудівне креслення» дане питання зовсім не розглядається.

Список літератури: 1. ГОСТ 2.423 – 73. Правила выполнения чертежей элементов литейной формы и отливки. – М.: Издательство стандартов, 1974.- 16 с. 2. ДСТУ 3321: 2003.– К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 50 с.

Поступила в редколлегию 15.12.2009

О. А. ДІТКОВСЬКА, асистент, Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ РОЗМІРІВ ФІГУРИ ДІВЧАТОК МОЛОДШОЇ ШКІЛЬНОЇ ГРУПИ НА ПАРАМЕТРИЧНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ БАЗОВОЇ ОСНОВИ СУКНІ

Стаття присвячена висвітленню результатів порівняльного аналізу параметричної характеристики креслень БО сукні, які виконані за трьома різновидами даних антропометричної характеристики дівчаток молодшої шкільної групи. Встановлено, що впровадження у виробництво удосконаленої антропометричної характеристика дівчаток сучасного покоління сприяє підвищенню групового показника виробничої технологічності конструкції нових моделей одягу за ступенем матеріаломісткості виробу.

Ключові слова: дівчатка молодшої шкільної групи, антропометрична характеристика, конструкція, матеріаломісткість.

The article is devoted to describing the results of comparative analysis of the parametric characteristic of the drafts for the basis of a dress which made according to three kinds of the data, of junior school group girls anthropometric characteristic. Application of the improved anthropometric characteristic of the girls of the modern generation in industry was established to favor the raising of the group index of industrial technological design of new clothes models by the level of material capacity of an article.

Key words: junior school group girls, anthropometric characteristic, design, material capacity.

Постановка проблеми

Побудова креслення основи конструкції дитячих виробів здійснюється за розрахунками, що аналогічні побудові одягу для дорослих, але з врахуванням особливостей пропорції і тілобудови кожної вікової групи. Вихідними даними для розрахунків при побудові креслення базової основи (БО) є розмірні ознаки дівчаток типової тілобудови (ТФ), які визначаються розмірною типологією дитячого населення і наведені у ГОСТах, та конструктивні прибавки до них. Однак відомо [1, 2], що під дією комплексу факторів, які призводять до епохальних змін, розміри та пропорційна будова фігури людини у кожному наступному поколінні зазнають змін. Таким чином, зміна величин розмірних ознак дитячих фігур кожного нового покоління впливає на параметричну характеристику креслення БО, а отже і на ступінь матеріаломісткості нових моделей одягу.

Зважаючи на те, що показник матеріаломісткості відноситься до комплексу техніко-економічних показників якості одягу [3], дослідження впливу зміни антропометричної характеристики дитячих фігур сучасного покоління на параметричну характеристику креслення БО плечового виробу, зокрема сукні, є актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Відомо, що чинний на території України ГОСТ 17916-86 [4] розроблено за результатами масового антропометричного обстеження населення колишнього Радянського Союзу у 80-х роках минулого століття. На сьогоднішній день дослідженнями Л.І. Зубкової, Т.М. Баранової, Н.В. Кудрявцевої та інших науковців до-

ведено, що характеристика ТФ діючої розмірної типології не відповідає розмірам реальних фігур дитячого населення України. В таких умовах, за фактичної відсутності інформації про типологічний склад українського населення, виникають складності при виготовленні одягу високої якості, співрозмірного будові тіла сучасного споживача.

В практиці антропометричних досліджень недостатню антропологічну інформацію отримують на основі експериментального антропометричного обстеження певної групи споживачів за допомогою спеціальних програм вимірювання [3]. Так, для визначення змін у сучасній антропометричній характеристиці дівчаток молодшої шкільної групи, автором було проведено порівняльний аналіз антропометричної характеристики тіла дівчаток молодшої шкільної групи Вінницької та Хмельницької областей України сучасного (обстежуваного) та попереднього (за результатами масового обстеження 80-х років) поколінь [5]. За результатами дослідження встановлено, що для ТФ дівчаток сучасного покоління характерним є зменшення на $4,3 \div 7,9$ % значень поперечних та передньозадніх діаметрів тулуба на рівні грудей, талії та стегон, при фактично не змінених середньоарифметичних значеннях повздовжніх проекційних ознак. Це дозволило визнати, що фігури дівчаток сучасного покоління відрізняються за пропорційною будовою від однойменних ТФ дівчаток попереднього покоління.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є дослідження впливу зміни розмірів фігури дівчаток молодшої шкільної групи на параметричну характеристику креслення БО сукні.

Завдання дослідження:

1. Побудувати креслення БО сукні за антропометричною характеристикою фігур дівчаток різних поколінь та виконати порівняльний аналіз основних ділянок конструкції.
2. Визначити ступінь впливу змінювання ділянок креслення на зменшення показника матеріаломісткості нових моделей суконь.

Виклад основного матеріалу

Для вирішення поставлених завдань, антропометричну характеристику фігур дівчаток попереднього покоління визначено за чинним ГОСТ 17916-86, а сучасного покоління – за результатами проведеного автором дослідження [5], де на основі регресійного аналізу розмірів тіла дівчаток молодшої шкільної групи попереднього (вибірка 1) і сучасного (вибірка 2) покоління, отримано вихідні дані для побудови конструкції БО сукні на пропорційну будову фігур дівчаток сучасного покоління.

Для побудови конструкції БО сукні напівприлеглого силуету було обрано німецьку методику конструювання “М. Мюллер і син”, яка останнім часом є широко розповсюдженою у спеціалізованій літературі та журналах мод [6 – 8]. В даній методиці розмірні ознаки, необхідні для побудови креслення конструкції одягу, визначають розрахунковим шляхом за формулами 2-го виду, відносно величин ведучих розмірних ознак – обхвату грудей і зросту, на основі визначеного ступеня регресійного зв'язку [6]. Точність визначення розмірів деталей одягу з

використанням формул 2-го виду залежить від того, наскільки вірно встановлена залежність між розмірами одягу і фігурою. Проте ця залежність не постійна і справедлива лише для фігур певної тілобудови. В даному випадку, побудова конструкції сукні за формулами методики “М. Мюллер і син” виконується на фігури типової будови дівчаток Німеччини, що належать до іншої етнотериторіальної групи.

Проблема доцільності використання методики “М. Мюллер і син” для побудови конструкції одягу для вітчизняного споживача, що відрізняється за своєю тілобудовою, на сьогоднішній час не вирішена, оскільки й досі не розроблено державних антропометричних стандартів України, які би характеризували сучасні типи тілобудови вітчизняного споживача.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз вихідних даних для побудови конструкції БО сукні для дівчинки 8 – 9 рр. за методикою “Мюллер і син” на розмір 128-64-54

Позначення ознак у методиці		Номер ознаки за [4]		Величини ознак та конструктивних ділянок креслення (см) за даними:			
				вибірки 1 [4]	регресійних залежностей вибірки 2	методики “М. Мюллер і син” [7, 8]	
						розрахункові формули	величини ознак, см
P	1	128	128	-	128		
O_{2III}	16	64	64	-	64		
O_m	18	54	54	-	54		
O_{cm}	19	73,8	68,9	-	73,8		
$Ш_n$	31	11,2	9,5	-	11,2		
$Д_{вир}$	по моделі	63	63	-	63		
Додаткові розмірні ознаки							
$B_{np.з}$	39	14,7	14,7	$\frac{1}{10} O_{2III} + 9$	15,4		
$Д_{mc}$	40	28,8	30,2	$\frac{1}{4} P - 1$	31		
B_{δ}	/39/ + /40/	43,5	44,9	$B_{np.з} + Д_{mc}$	46,4		
$Д_{ec}$	76	7,8	7,8	$\frac{1}{10} O_{2III}$	6,4		
$Д_{mnII}$	61	30,1	31,8	$Д_{mc} + 2$	33		
Попередній розрахунок ширини ділянок базисної сітки: $Ш_c + Ш_{np} + Ш_e = 1/2 O_{2III}$							

$Ш_c$	47	14	13,2	$\frac{1}{8}O_{2III} + 5,5$	13,5
$Ш_{np}$	з конструкції	5	7	$\frac{1}{8}O_{2III} - 1,5$	6,5
$Ш_c$	45	13	11,8	$\frac{1}{4}O_{2III} - 4$	12

На основі викладеного, застосовуючи для побудови креслення БО методику “М. Мюллер і син”, одержана можливість порівняти антропометричну характеристику дівчаток типової тілобудови Німеччини, ТФ дівчаток 80-х років (представлених у чинній розмірній типології) та представниць сучасного покоління за результатами аналізу основних ділянок креслення БО сукні.

Для проведення порівняльного аналізу побудовано три креслення конструкції БО сукні напівприлеглої силуету на розмір 128-64-54 за значеннями розмірних ознак (табл. 1), які визначені:

- за формулами методики “М. Мюллер і син” (креслення К1);
- за ГОСТ 17916-86 для ТФ дівчаток попереднього покоління (креслення К2);
- за результатами регресійного аналізу для ТФ дівчаток сучасного покоління (креслення К3).

Величини прибавок до основних ділянок креслення складають: до напівобхвату грудей третього – 4,5 см; до напівобхвату талії – 3 см, до напівобхвату стегон – 2,5 см.

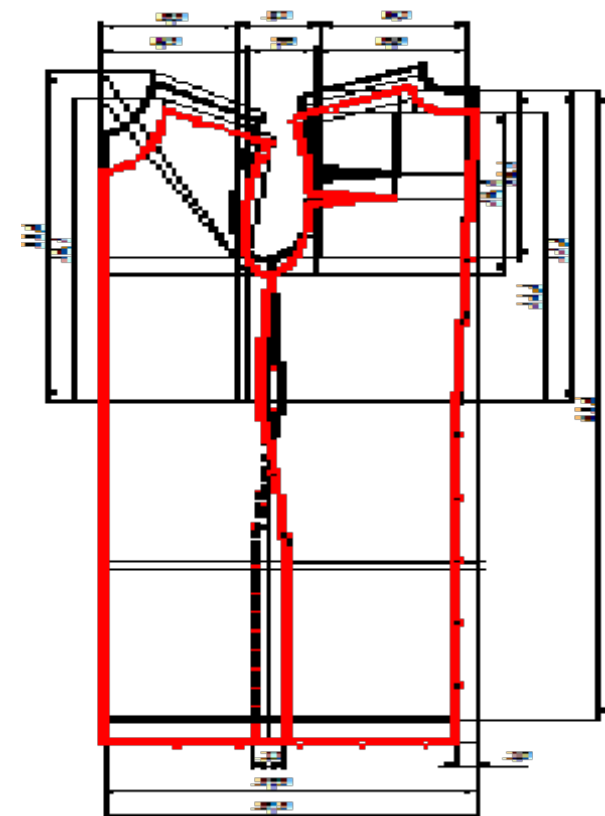
Для здійснення порівняльного аналізу креслень БО виконано їх попарне суміщення відносно базової лінії грудей (рис. 1).

В процесі виконання порівняльного аналізу параметрів конструкції були визначенні відхилення на найбільш вагомих ділянках креслення, значення яких наведено у табл. 2.

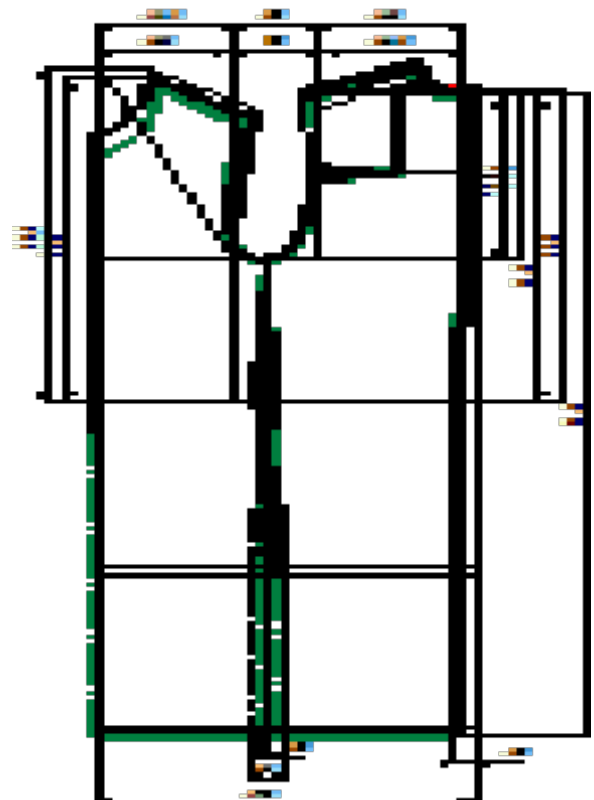
Таблиця 2. Порівняльна характеристика відхилень на ділянках креслення БО сукні

Ділянка креслення БО сукні для дівчинки	Різниця на ділянках креслення при порівнянні конструкцій, см:		
	К1 - К2 (рис.1, а)	К1 - К3 (рис.1, б)	К2 - К3 (рис.1, в)
Відстань від лінії грудей до точки сьомого шийного хребця ($B_{np.3}+1,5$)	0,7	0,7	0
Відстань від лінії талії до точки сьомого шийного хребця (D_{mc})	2,2	0,8	-1,4
Відстань від лінії талії до вищої точки перетину середини пілочки з горизонталлю (D_{mnl})	2,9	1,2	-1,7
Ширина спинки по лінії грудей ($Ш_c+1$)	-0,5	0,3	0,8
Ширина пройми по лінії грудей ($Ш_{np}+2$)	1,5	-0,5	-2,0

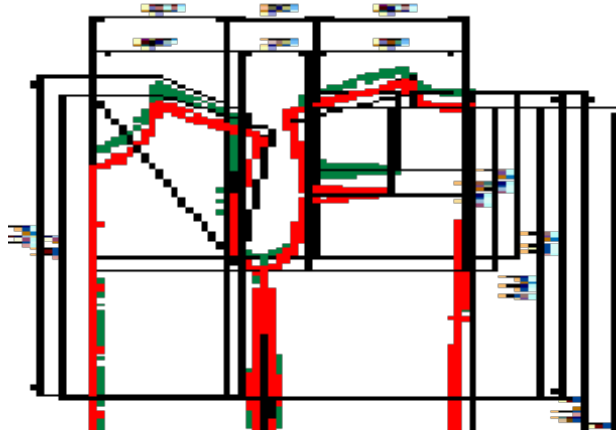
Ширина пілочки по лінії грудей ($Ш_c+1,5$)	-1,0	0,2	1,2
Ширина горловини ($Д_{cc}$)	-1,4	-1,4	0
Ширина плеча пілочки ($Ш_n$)	0	1,7	1,7
Величина недостатнього об'єму по лінії стегон	0	-2,5	2,5



a)



б)



K1

K2

K1

K3

K2

K3



в)

Рис. 1. Параметрична характеристика конструкцій БО сукні напівприлеглого силуету розміру 128-64-54 та суміщення креслень побудованих: а) за формулами методики “М. Мюллер и син” (К1) та за розмірами ТФ дівчаток попереднього покоління (К2); б) за формулами методики “М. Мюллер и син” (К1) та за розмірами ТФ дівчаток сучасного покоління (К3); в) за розмірами ТФ дівчаток попереднього (К2) та сучасного (К3) покоління.

За результатами порівняльного аналізу конструкцій К1 і К2 (рис. 1, а) встановлено, що ширина ділянок пілочки та спинки, отриманих розрахунково-пропорційним методом згідно формул методики “М. Мюллер и син” не відповідають ширині виробу на відповідних ділянках конструкції К2, яка побудована за розмірами ТФ дівчаток попереднього покоління. При тому, що ширина базисної сітки конструкцій однакова, ширина спинки та пілочки конструкції К2 більші відповідно на 3,5 і 8,3 % за рахунок зменшення ширини пройми на 17,6 % (1,5см). Крім того, на кресленні К1 ділянки, що відповідають ознакам D_{mc} і D_{mnl} , відрізняються більшими значеннями, а різниця складає 6,7 та 9,4% відповідно. Оскільки відхилення перевищують допустиму похибку у 5% можна стверджувати, що визначений у методиці “М. Мюллер и син” характер зв'язку між розмірними ознаками, не відповідає характеристиці ТФ дівчаток попереднього покоління.

При суміщенні конструкцій К1 і К3 (рис.1, б) встановлено, що ширини ділянок пілочки та спинки, визначені за регресійними залежностями вибірки 2 для фігур дівчаток сучасного покоління практично співпадають із значеннями, що розраховані за формулами методики – різниця складає лише 2,1 і 1,7% відповідно. Відхилення по довжині ділянок конструкції також не суттєві. Єдина невідповідність спостерігається у зменшенні ширини пілочки та спинки конструкції К3 на лінії стегон, оскільки вихідні значення O_{cm} є різними (див. табл. 1).

Незважаючи на це, можна стверджувати, що пропорційна характеристика, покладена в основу розрахункових формул німецької методики конструювання, в більшій мірі відповідає антропометричній характеристиці дівчаток сучасного покоління, ніж фігурам дівчаток 80-х років. Отже, у випадку, коли значення деяких розмірних ознак не відомі, для побудови креслення БО плечового виробу для дівчаток можна використовувати розрахункові формули методики “М. Мюллер и син”.

На основі аналізу конструкцій К2 і К3 (рис.1, в), що побудовані за значеннями ТФ дівчаток попереднього та сучасного поколінь, встановлено, що при незмінній ширині виробу ширина пілочки та спинки креслення К3 на рівні виступу лопаток та по лінії стегон менша, за розміри відповідних ділянок з креслення К2 (див. табл. 2). Тобто, зменшення розмірів $Ш_c$, $Ш_z$, $Ш_n$, O_{cm} , відмічені у роботі [5] для ТФ дівчаток сучасного покоління, безпосередньо впливають на зміну контурів креслення сукні, а в подальшому – і на площу деталей лекал.

Відомо, що в умовах масового виробництва одягу можливість зменшити витрати матеріалів (ΔS) на виготовлення нових моделей є надзвичайно важливим фактором. В даному випадку, зменшення сумарної площі креслення К3 (S_3), що побудоване за розмірними ознаками для ТФ дівчаток сучасного покоління, відносно креслення К2 (S_2) є вагомим і становить:

$$\Delta S = \frac{S_2 - S_3}{S_2} \cdot 100\% = \frac{2218,10 - 2145,89}{2218,10} \cdot 100\% = 3,26\%$$

Таким чином, впровадження у виробництво удосконаленої антропометричної характеристики дівчаток, яка є адекватною пропорційній будові дитячих фігур сучасного покоління, дозволить підвищити показники виробничої технологічності конструкції нових моделей одягу та отримати економічний ефект за рахунок зниження матеріаломісткості виробів.

Висновки

За результатами аналізу параметричної характеристики трьох креслень БО сукні встановлено, що відмінності у розмірах ТФ дівчаток, отриманих за різними базами даних, дійсно впливають на розподіл ділянок креслення БО по ширині деталей, особливо по лініях грудей та стегон. Отримана різниця у площі деталей креслення К2 і К3 відкриває перспективу підвищення технологічності конструкції виробу при впровадженні у виробництво удосконаленої антропометричної характеристики населення України. Зменшення площі лекал одиниці виробу на 3,26% в межах масового виробництва одягу забезпечить підприємству помітний економічний ефект.

Список літератури: 1. Проблемы размерной антропологической стандартизации для конструирования одежды / [Ю.С. Куршакова, Т.Н. Дунаевская, П.И. Зенкевич и др.] – М.: “Легкая индустрия”, 1978. – 256 с. 2. Антропометрическая стандартизация населения стран – членов СЭВ / [Ю.С. Куршакова, Т.Н. Дунаевская, Т.Ф. Дурыгина и др.] – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 200 с. 3. Славінська А.Л. Методи типового проектування одягу: навч. посібник / А.Л.Славінська. – Хмельницький: ХНУ, 2008. – 159 с. 4. Фигуры девочек типовые. Размерные признаки для проектирования одежды: ГОСТ 17916-86. – [Действителен 1987-01-01; изменения № 1 с 1990-03-01; изменения № 2 с 2006-04-01]. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 86 с. 5. Дітковська О.А. Характеристика сучасних фігур дівчаток молодшої шкільної групи за підпорядкованими розмірними ознаками / О.А. Дітковська, Н.В. Кудрявцева // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – Т 2, № 3. – С. 116 – 121. 6. Куренова С.В. Конструирование одежды: учеб. пособие / С.В. Куренова, Н.Ю. Савельева. – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 480 с. 7. Кузьмина Ольга. Детская одежда. Конструирование платьев и блузок для девочек: [М. Мюллер и сын]. Ч.2. / Ольга Кузьмина, Марина Силаева // Ателье. – 2008. – № 1. – С. 34 – 41. 8. М. Мюллер и сын. Детская и подростковая одежда: Ателье. Спецвыпуск 2002. – М.: ЗАО «ИД КОН-Лига Пресс», 2002. – 65 с.

Поступила в редколлегию 17.01.2010

УДК. 621.771.22.001.5.

Д.И. КУРАНДО, аспирант, НТУ «ХПИ»

РОЗРАХУНОК ФОРМОЗМІНИ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОКАТКИ ОДНОГРЕБНЕВИХ ПРОФІЛІВ

У статті розглядається розрахунок формозміни енергосилових параметрів прокатки одногребневих профілів на прикладі профілю черевика із кроком 203 мм на стані 1000/850/630 Волгоградського металургійного заводу «Красный Октябрь», наведені графіки коефіцієнта витяжки й зусиль прокатки, параметри прокатки профілю в реверсивній кліті 1000 ВМЗ «Красный Октябрь».

In the article calculation of forming energy-power parameters of rolling of onecombing profiles is examined on the example of profile of chock with a step 203 mm on a rolling mill 1000/850/630 Volgograd metallurgical works «Krasniy Oktyabr», the charts of coefficient of extraction and efforts of rolling are resulted, parameters of rolling of type in a reversible cage 1000 VMW «Red October».

Одним з основних напрямів підвищення конкурентоздатності металопродукції, що випускається, є розширення її сортаменту для більш повного задоволення вимог споживачів.

Одногребневі штабові асиметричні профілі в перетині мають витягнуту прямокутну форму. Іноді прямокутна частина закінчується з одного боку вигнутою ділянкою. Продовженням полиці в протилежному напрямку є мала полиця. Перпендикулярно до них розташоване вертикальне ребро (шпора) трапецієподібної форми.

У зв'язку з необхідністю розширення сортаменту продукції, що випускається на Волгоградському металургійному заводі «Красный Октябрь», було ухвалене рішення про освоєння на крупносортно заготовочному стані (КЗС) 1000/850/630 профілю башмака гусеничного ходу тракторів Т-130 – із кроком 203 мм.

Зараз профіль для башмаків із кроком 203 мм виробляється за ГОСТ 5422-73 на Нижнетагільському металургійному комбінаті. Однак існуючі допуски за ГОСТ 5422-73 і фактично одержувані геометричні розміри профілю не влаштовують споживача.

У зв'язку зі значними допусками одержуваного прокату споживачеві доводиться здійснювати механічну обробку кінцевих елементів профілю, тобто передня частина полотна башмака и полотно. Профіль башмака із кроком 203 мм виробляється також в США і Японії, і отримується споживачем за імпортом. Допуски на профіль закордонних виробників так само не влаштовують споживачів.

Для цього була розроблена програма розрахунку, що дозволяє зробити розрахунок формозміни енергосилових параметрів прокатки одногребневих профілів. Деформаційна картина формозміни у калібрах представлена на рис. 1.

Результати проведених розрахунків представлені в таблиці 1.

Для наочності були побудовані графіки розподілу витяжки і зусилля деформації по проходах для башмака із кроком 203 мм (рис. 2).

Аналіз отриманих графіків (рис. 2) показує, що максимальна витяжка відбувається у 10 проході при остаточному формуванні гребеня, зусилля деформації максимальне при початковому формуванні гребеня (5 прохід) і при кінцевому формуванні (10 прохід).

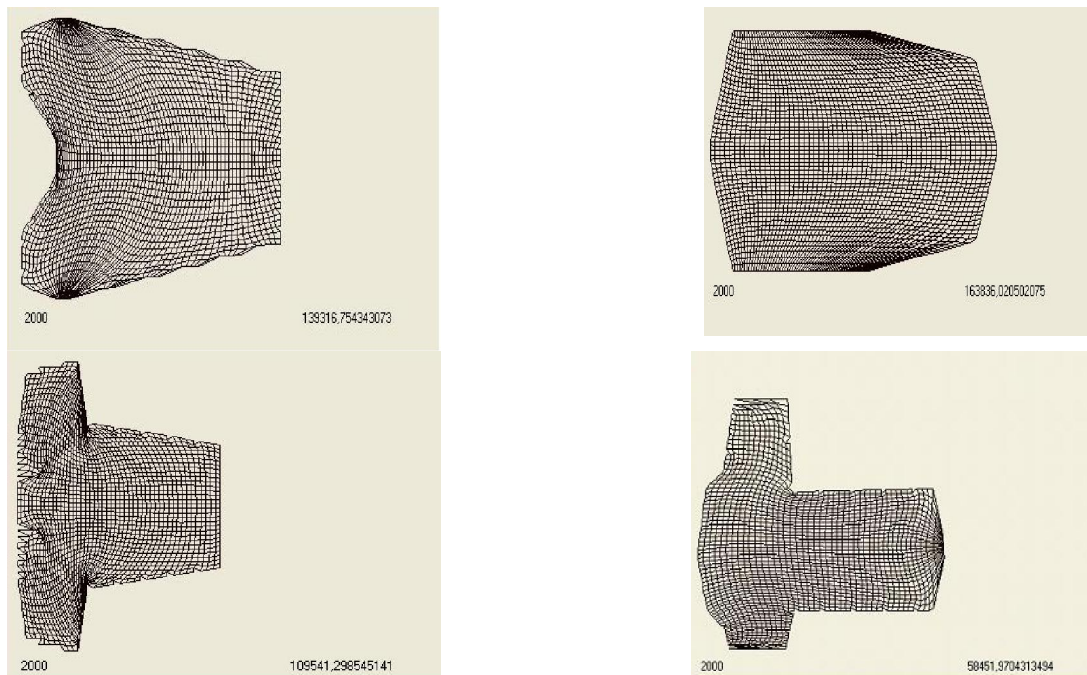


Рис.1. Деформаційна картина формозміни у калібрах

Так само на графіку видно, що в реверсивних проходах, тобто 4 і 6, у тому ж калібрі зусилля мінімальне.

На графіку (рис .2) максимальна витяжка припадає на 10 прохід, зусилля є максимальним у 2 та 10 проходах.

Отримані значення зусилля деформації менше за припустимі у клітках стана 1000/850/630, тому реалізація технології отримання башмаків на даному стані може бути здійснена. Ці значення витяжки і розширення мають бути використані при розробці калібрування.

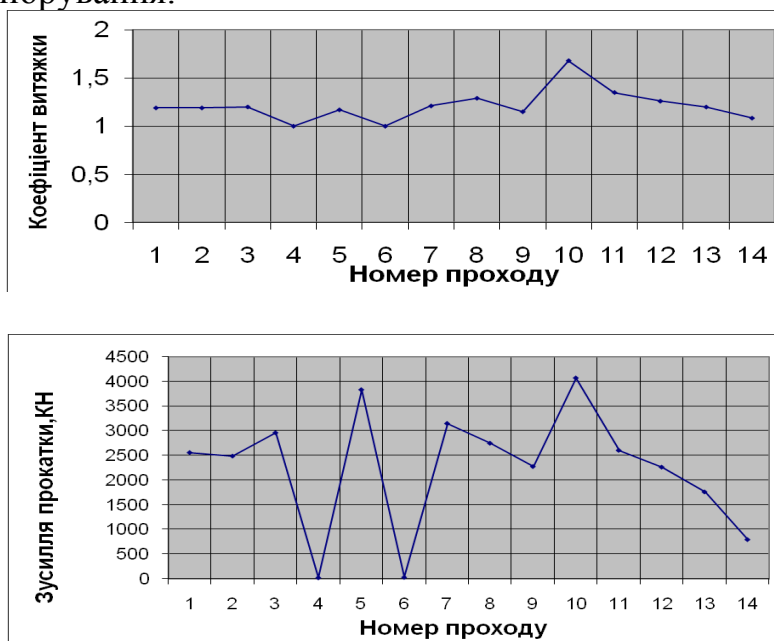


Рис. 2 – Параметри прокатки профілю башмака із кроком 203 мм.

Таблиця 1 - Параметри прокатки профілю башмачного з кроком 203 мм (реверсивна кліть 1000 Волгоградського метзаводу)
сталь 32 ХФР

Номер			Розміри перетину			Швидкість валків, об/мин			Час прокатки			Кут захвату, град.			Температура, град.			Коефіцієнт плеча рівнодії			Повний тиск, тт		Момент прокатки, тт	
проходу	кліті	калібру	висота, мм	ширина, мм	площа, мм ²	Коефіцієнт витяжки			Довжина розкату, м			захват	максимум	викид	прискорення, с	постійний	уповільнення	машинне	Час паузи					
			22 2,0	24 0,0	51 74 0			2,5											60, 0		12 00	0,5 0		
1	1	1	18 6,0	25 0,0	43 43 0	1,1		3,0	15	74	74	1,4 8	0,0 0	0,0 0	1,4 8	7,2	17, 9	11 51	0,5 0	255,7	40, 9			
2	1	1	15 2,0	26 0,0	36 45 0	1,1		3,5	15	80	80	1,6 3	0,0 0	0,0 0	1,6 3	9,0	16, 1	11 45	0,5 0	248,6	35, 9			
3	1	2	22 0,0	20 0,0	30 29 0	1,2		4,3	15	88	88	1,8 3	0,0 0	0,0 0	1,8 3	6,7	26, 4	11 37	0,5 0	195,8	66, 5			
4	1	2	22 0,0	20 0,0	30 28 0	1,0		4,3	15	88	88	1,8 3	0,0 0	0,0 0	1,8 3	6,7	0,6	11 28	0,5 0	2,3	2,0			
5	1	3	17 0,0	27 0,0	25 94 0	1,1		5,0	15	93	93	1,9 5	0,0 0	0,0 0	1,9 5	6,3	20, 1	11 23	0,5 0	382,8	70, 5			
6	1	3	17 0,0	27 0,0	26 93 0	1,0		5,0	15	93	93	1,9 5	0,0 0	0,0 0	1,9 5	16, 3	0,5	11 15	0,5 0	3,2	2,0			
7	1	4	19 0,0	21 5,0	21 50 0	1,2		6,0	15	10 0	10 0	2,1 3	0,0 5	0,0 0	2,1 8	6,3	19, 7	10 93	0,5 0	314,6	32, 1			

квадратичний момент 39.3 тт
цикл прокатки 76.2 с
продуктивність 47.9 т/ч

Висновки

1. Проведені розрахунки дозволили отримати деформаційну картину формозміни і основних параметрів прокатки.

2. Аналіз отриманих графіків показує, що максимальна витяжка відбувається у 10 проході при остаточному формуванні гребеня, зусилля деформації максимальне при початковому формуванні гребеня (5 проход) і при кінцевому формуванні (10 проход).

3. Отримані значення зусилля деформації нижче припустимих у клітях стану 1000/850/630, тому реалізація технології виготовлення башмаків на даному стані може бути здійснена. Ці значення витяжки і розширення необхідно використовувати при розробці калібрування.

Список літератури: 1. Литовченко Н.В., Диомидов Б.Б., Курдюмова В.А. «Калибровка валков сортових станов» – М.: Металургиздат 1963, 638 с. 2. Алексеев Ю.Н., Грицук Н.Ф., Сиутко Н.У. Экспериментальные исследования устойчивости высоких полос при прокатке в ребровых калибрах. – В сб.: Самолетостроение и техника воздушного флота, вып.№ 2. – Харьков: ХГУ, 1970, с. 93-99. 3. Коновалов Д.В., Руденко Е.А., Литвинова Т.С. Математическая модель разноширинности листов и полос при прокатке в универсальных клетях. – В сб.: Производство толстолистовой стали, № 2. – Донецк: ДонНИИчермет, 1977, с. 40-45. 4. Отчет о выполнении плана научно-исследовательских работ за 2009 год [Обработка материалов давлением]: сб. науч. тр. / ДГМА- Краматоркс-451с.

УДК 621.74.002:669.715

Ю. В. ДОЦЕНКО, канд. техн. наук, доцент, НМетАУ (м. Дніпропетровськ)

ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИЛИВКІВ ІЗ СПЛАВУ АК9, ОТРИМАНИХ СПОСОБОМ ЛИТТЯ ПІД ВИСОКИМ ТИСКОМ

У статті проаналізовані експериментальні дані використання технології модифікування алюмінієвого ливарного сплаву АК9 при виготовленні виливків способом лиття під високим тиском. Технологія дозволяє подрібнити мікроструктуру металу відливань, практично повністю усунути пористість.

Ключові слова: модифікування, спосіб лиття під високим тиском, мікроструктура.

In the article experimental these uses of technology of modification of aluminium casting alloy of AK9 are analysed at making of foundings a casting method force-feed high. Technology allows to grind up the microstructure of metal of foundings, practically fully to remove porosity.

Keywords: modification, casting method force-feed high, microstructure.

Вступ

Найбільш високі і стабільні по перетину виливків властивості досягаються при отриманні однорідної і дрібнозернистої структури. Чим дрібніші розміри первинних кристалів, тим вище ряд важливих експлуатаційних і технологічних властивостей виливків. Тому ливарники найчастіше прагнуть до отримання найбільш дрібнозернистої і однорідної структури металу.

Одним з найбільш поширених засобів досягнення цієї мети є модифікування. Крім того, до методів зовнішньої дії на формування структури виливків можна віднести процеси, пов'язані із застосуванням тиску. Поєднання процесів модифікування та дії тиску на розплав, що кристалізується, представляє певний інтерес.

Аналіз попередніх публікацій

Дослідження розплавів системи Al-Si дають підставу припустити наявність в них особливого передкристалізаційного стану - комплексів (кластерів) або псевдозародків. Дрібнокристалічну структуру можна одержати на сплавах технічної чистоти без введення модифікатора в результаті швидкого охолодження, дії високого тиску, обробки постійним струмом і вібрацією. Ідентичність мікроструктур, одержаних при швидкому охолодженні і при обробці модифікатором, вважають підтвердженням однакового механізму структуроутворення [1-5].

Сплав АК12, центрифугований без модифікатора при відцентровій силі 13 g, має мікроструктуру, близьку до модифікованої [1]. У разі поєднання модифікування з центрифугуванням необхідна кількість модифікатора зменшується в 10 разів, а тривалість обробки - в 3 рази в порівнянні із стаціонарними умовами. Центрифугування розплаву з 2 % модифікатора скорочує час досягнення максимального ефекту модифікування до 1 хв. Такий ефект з'ясовується прискоренням дифузії натрію в результаті перемішування при обертанні і посиленні конвекції. Проте, з цих же причин, вміст натрію (2 % модифікатора) у дзеркала центрифуго-

ваного (5 хв) сплаву в 5 разів нижче, ніж в донній частині тигля (при стаціонарному модифікуванні це зменшення складає тільки 20 %) [1]. У донній частині тигля вміст натрію в обох випадках однаковий. Результати центрифугування немодифікованого розплаву наводять на думку про зміну стану комплексів та надавання їм підвищеної схильності до модифікування.

У роботі [1] була досліджена дія постійного електричного струму на властивості сплаву АК12. Обробку сплаву, модифікованого за загальноприйнятою технологією (2 % модифікатора), проводили струмом 0,5 А за допомогою спеціального осередку, що забезпечує строго певну спрямованість електричного поля. В результаті такої обробки значно збільшилася тривалість збереження ефекту модифікування і високий рівень механічних властивостей при литті в керамічну форму. Після зняття шлаку і подальшого накладення електричного поля вміст натрію спочатку зростає, потім - зменшується, тоді як без струму кількість натрію безперервно зменшується.

Підтримка натрію на певному рівні стабілізує структурний стан сплаву АК12, який передбачає формування модифікованої структури при кристалізації. Струм сприяє повнішому відновленню натрію з солей, що звичайно залишаються після зняття модифікатора на стінках тигля і на дзеркалі металу, в результаті електролізу. Проте, дія струму, ймовірно, приводить і до структурних змін розплаву. Обробка струмом 10-кратної переплавки після модифікування 2 % модифікатора приводить до втрати ефекту модифікування і падіння механічних властивостей [1]. Зняття ефекту модифікування може бути викликано невідповідністю кількості натрію (надлишком) стану сплаву, з огляду на те, що при багатократній кристалізації в металевій формі переплав набуває мікроструктуру, близьку до модифікованої, і для повної зміни структури достатньо меншої кількості натрію.

Таким чином, в цьому випадку, а також для модифікування центрифугованого сплаву АК12 досить меншої кількості модифікатора. Значне збільшення її в першому випадку не змінює структуру, в другому - знімає ефект модифікування, але перемодифікування в обох випадках не спостерігається.

Також, великий інтерес представляє поєднання процесу модифікування алюмінієвих ливарних сплавів і лиття під високим тиском. Тому метою статті є аналіз експериментальних досліджень по впливу модифікування на механічні властивості виливків одержаних методом лиття під високим тиском.

Основний матеріал

Експерименти проводили у виробничих умовах ВАТ «Дніпропетровський агрегатний завод». Розплав АК9 готували в електричній печі САТ-0,25 у тиглі ємністю 200 кг і рафінували його препаратом таблетованим ТУ РБ 14744129.004-98 при 953 К.

Хімічний склад сплаву АК9 приведений в таблиці 1.

Таблиця 1 - Хімічний склад сплаву АК9

Al	Si	Mg	Mn	Cu	Zn	Ti	Fe
Осн.	9,0	0,29	0,24	0,14	0,09	0,02	0,56

Для підвищення механічних властивостей вилівка «Корпус помпи» (рис. 1), який отримують на машині лиття під високим тиском з горизонтальною холодною камерою пресування моделі 711A08, проводили модифікування препаратом таблетованим ТУ РБ 100354447.054-2004 в кількості 0,1% від маси розплаву. Модифікатор вводили у розплав при температурі 953 К за допомогою «колокольчика».

Загальний вид вилівка «Корпус помпи» приведено на рис.1.



Рис. 1 - Загальний вид вилівка «Корпус помпи»

Механічні властивості металу вилівоків «Корпус помпи» представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Механічні властивості металу вилівоків «Корпус помпи»

Сплав	Заливання	Межа міцності на розтягання, МПа	Максимальне подовження, %	Твердість НВ	Щільність, г/см ³
АК9	Без модифікатора	215	2,2	68	2,726
	З модифікатором	255	4,3	72	2,747

Підвищення механічних властивостей обумовлене зміною мікроструктури металу вилівоків. Після модифікування вдалося подрібнити мікроструктуру приблизно в 1,5-2,5 разу. Будова дендритів стала дисперсною, при цьому вдалося одержати більш рівномірний розподіл зерен по перетину зразка і стабілізацію їх розмірів. Також істотна зміна морфології дендритів. Дендрити нерегулярної форми в результаті модифікування перетворилися в дендрити із зовнішніми контурами, близькими до сферичних.

У вилівках вдалося практично повністю усунути шпаристість.

Висновки

Аналіз технологічних режимів модифікування розплаву АК9 при отриманні вилівоків для лиття під тиском, показав, що механічні властивості збільшуються на 15-20% порівняно з немодифікованим станом. Практично повністю усувається шпаристість вилівоків. Після модифікування вдалося подрібнити мікроструктуру приблизно в 1,5-2,5 рази. Будова дендритів стала дисперсною, при цьому вдалося одержати більш рівномірний розподіл зерен по перетину зразка і стабілізацію їх

розмірів. Дендрити нерегулярної форми в результаті модифікування перетворилися в дендрити із зовнішніми контурами, близькими до сферичних.

Список літератури: 1. Свойства расплавленных металлов [Текст] : Труды XVI Совецания по теории дитейных процессов / М.: Наука, 1974. - С. 78-82. 2. Немененок, Б.М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов [Текст] / Б.М. Немененок - Мн. Технопринт, 1999. – 272 с. 3. Ефимов, В.А. Перспективы развития работ по применению внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся расплав [Текст] / В.А. Ефимов. - Киев: Изд. ИПЛ АН УССР. - 1983. - С. 3-65. 4. Борисов, Г.П. Давление в управлении литейными процессами [Текст] / Г.П. Борисов. – К.: Наукова думка, 1988.– 271 с. 5. Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях [Текст]/ А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, С.В. Момот, В.Н. Амитан. - Д.: Издательство «ВИК» - 2002. - 169 с.

Поступила в редколлегию 11.02.2010

УДК 621.745.002.645:533

СЕЛІВЬОРСТОВ В. Ю., канд. техн. наук, доцент, НМетАУ, *КУЩ П. Д.*,
НМетАУ (м. Дніпропетровськ)

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ НА РОЗПЛАВ ПРИ ЛИТТІ ПО ВИТОПЛЮВАНИМ МОДЕЛЯМ

Приведені результати промислових випробувань технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі при виробництві циліндричних заготовок для ріжучого інструменту із сталі P18 способом лиття по витоплюваним моделям. Отримані результати показали перспективність проведення подальших досліджень та використання зазначеного процесу.

Ключові слова: газодинамічний вплив, лиття по витоплюваним моделям, механічні властивості.

The results of industrial tests of technology of gaz-dynamyc influence are resulted on fusion in a cast form at production of cylindrical semiss for a toolpiece from steel by the P18 method of casting on the smelted models. The got results rotined perspective of leadthrough of subsequent researches and use of this process.

Keywords: gaz-dynamyc influence, casting on the smelted models, mechanical properties.

Вступ. Однією з причин виникнення дефектів в литому металі є порушення нормального процесу живлення, часто пов'язаного з неможливістю підтримки в елементах живлення навіть атмосферного тиску із-за герметизації вилівка у формі. При цьому, до найбільш поширених видів дефектів вилівоків при литті по витоплюваним моделям (ЛВМ) можна віднести саме шпаристість. Аналіз теоретичних, експериментальних робіт, а також досвід впроваджених у виробництво технологій показує, що при використанні активних методів зовнішніх фізичних впливів та управління структуроутворенням вдається не тільки значно понизити брак вилівоків, у тому числі і по цьому виду дефектів, але й підвищити механічні властивості литого металу.

Аналіз попередніх публікацій та постановка задачі. До методів активних фізичних впливів можна віднести вплив тиску на розплав, що кристалізується у ливарній формі: лиття під газовим, механічним або комбінованим тиском. При цьому, про можливості і перспективи застосування низького (до 0,5 МПа), середнього (0,6-20 МПа) і високого (понад 20 МПа) тиску при кристалізації розпла-

вів для поліпшення якості литих заготовок опубліковано значну кількість даних [1-6]. Наголошується перспективність використання підвищеного тиску під час кристалізації для забезпечення високих і стабільних властивостей металу при виготовленні заготовок, що виготовляються, зокрема, у формах ЛВМ [7 - 9].

На кафедрі ливарного виробництва Національної металургійної академії України розроблена технологія газодинамічного впливу на розплав, що твердіє в ливарній формі [10, 11]. Відмітною особливістю даної технології є можливість передачі газового тиску безпосередньо рідкій фазі до моменту повного затвердіння виливка після герметизації системи виливок - пристрій для введення газу за рахунок формування шару затверділого металу відповідної товщини на поверхні виливка. Технологія була застосована при литті в металеву форму та показала свою ефективність з точки зору підвищення якості металу [12 - 15]. Проте, актуальним завданням представляється встановлення можливості та опробування зазначеної технології в інших теплофізичних умовах кристалізації виливка, при інших способах лиття.

Метою роботи є визначення механічних властивостей металу циліндричних заготовок із сталі P18, що кристалізується в формі ЛВМ при газодинамічному впливі у порівнянні з аналогічними характеристиками литого металу, отриманого за традиційною технологією.

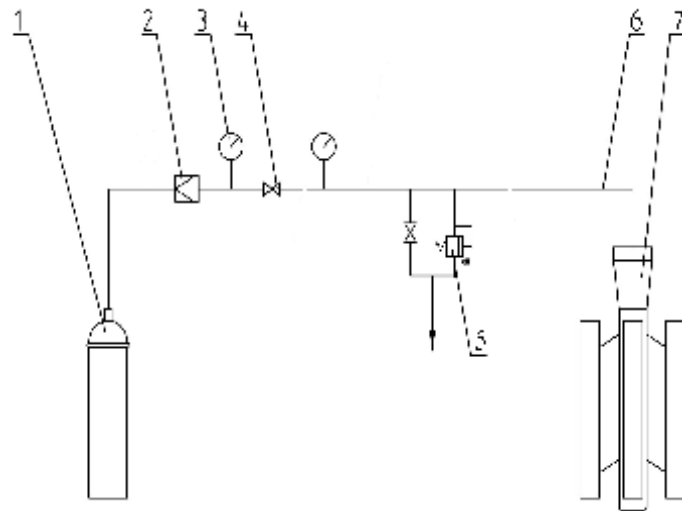
Результати досліджень. В умовах цеху точного лиття підприємства ТОВ «ИТЛ-Лассо» (м. Дніпропетровськ) була випробувана технологія лиття і установка для здійснення газодинамічного впливу на розплав в керамічній формі ЛВМ при відливанні циліндричних заготовок із сталі P18Л для виготовлення ріжучого інструменту. Отриманий хімічний склад сталі приведений в табл. 1. Діаметр виливка - 25 мм, висота - 200 мм. В конструкцію експериментального блока виливків (модельного блока) були внесені зміни з метою забезпечення герметизації системи виливок-пристрій для введення газу впродовж мінімального проміжку часу та більш тривалого затвердіння металу в живильнику.

Таблиця 1 – Хімічний склад сталі

Марка сталі	Вміст елементів, %						
	C	Cr	W	V	Mo	S	P
P18Л	0,72	4,1	18,0	1,1	0,1	0,03	0,02

У
порядок
техноло-

гічних операцій виготовлення виливків за технологією ЛВМ були включені наступні: після заливки керамічної форми здійснювали введення пристрою подачі газу в розплав у верхню частину стояка; здійснювали витримку для герметизації системи виливок - пристрій подачі газу і подачу газу (аргону) під наростаючим тиском 0,1 - 3 МПа з використанням розробленої установки (рис. 1).



1 - балон з аргоном, 2 – редуктор, 3 – манометр, 4 – вентиль, 5- перепускний клапан, 6 – трубопровід, 7 – ливарна форма.

Рис. 1 – Схема пристрою для здійснення газодинамічного впливу на розплави у формі ЛВМ

Дослідження властивостей литого металу проводили в порівнянні з металом тієї ж марки, який одержаний за традиційною технологією.

Для дослідження механічних властивостей металу із виливків вирізали циліндричні зразки (рис. 2): одержані із застосуванням газодинамічного впливу - №№ 1, 2, 3; одержані за традиційною технологією - №№ 4, 5, 6. Пропорційно циліндричні зразки для механічних випробувань виготовляли по типу III (ГОСТ 1497-84). Розміри зразка представлені в таблиці 2.

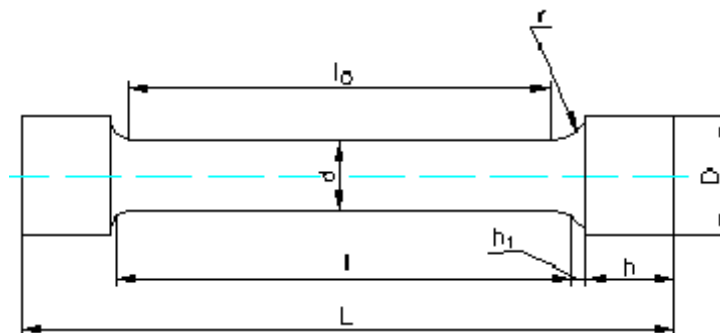


Рис. 2 – Пропорційний циліндричний зразок

Таблиця 2 – Розміри пропорційно циліндричного зразка, мм

d	$l_0=5d$	F	L	D	h	h ₁	R	L
6	30	28,27	$l_0=(0,5-2)d$	12	10	2,5	1,5	$l+2(h_1+h)$

Твердість після загартування і відпуску визначали по ГОСТ 9013-59 на зразках, відібраних для механічних випробувань. Загартування проводили в соляній високотемпературній ванні при температурі $1260 \pm 3^\circ\text{C}$ 1,5 хв. з попереднім підгрівом при $850 \pm 3^\circ\text{C}$ 5-6 хв. в низькотемпературній соляній ванні. Охолодження зразків після загартування проводили в мастилі. Відпуск зразків проводили при температурі 560°C з витримкою впродовж однієї години і охолодженням на повітрі.

У таблиці 3 приведені результати випробувань з визначення механічних властивостей литого металу, одержаного із застосуванням газодинамічного впливу в процесі твердіння у формі ЛВМ, а також металу, одержаного за традиційною технологією після термічної обробки.

Таблиця 3 – Механічні властивості сталі

№ зразка	P_{\max} , кг	F, мм ²	σ_s , кг/мм ²	HRC	δ , %
1	4868,1	28,27	172,2	62	3,55
2	4856,8		171,8	61	3,75
3	4865,3		172,1	61	3,73
4	3921,1		138,7	53	2,57
5	3887,1		137,5	52	2,59
6	3881,5		137,3	52	2,57

Структура металу в стояку і виливках експериментальних блоків відрізняється щільною дендритною будовою, практично позбавленою газоусадкових і ліквідаційних дефектів на відміну від литого металу, одержаного за традиційною технологією, який мав значну кількість пір. У мікроструктурі литої швидкорізальної сталі, одержаної за традиційною технологією, спостерігається значна структурна неоднорідність і, перш за все, наявність грубої скелетоподібної сітки евтектичних і вторинних карбідів по межах зерен металевої основи, що знижує міцнісні характеристики сталі. У мікроструктурі литої швидкорізальної сталі, одержаної за експериментальною технологією, структурна неоднорідність має вид тоншої сітки евтектики по межах зерен, що позитивним чином позначилося на механічних властивостях металу.

Висновки

1. В ході проведеної роботи визначена можливість застосування технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі при литті по витоплюваним моделям, а також перспективність проведення подальших досліджень в цьому напрямку.

2. Дослідження структури металу в стояку і виливках експериментальних блоків виявили відсутність газоусадкових і ліквідаційних дефектів на відміну від литого металу, одержаного за традиційною технологією, який мав значну кількість пір. У мікроструктурі сталі, одержаної за експериментальною технологією, структурна неоднорідність має вид тоншої сітки евтектики по межах зерен, на відміну

від наявної грубої скелетоподібної сітки евтектичних і вторинних карбідів по межах зерен металевої основи сталі, одержаної за традиційною технологією.

3. В результаті досліджень властивостей литого металу, що отриманий за експериментальною технологією, в порівнянні з металом, який одержаний за традиційною технологією, встановлений позитивний вплив застосування газодинамічної дії на механічні властивості швидкорізальної сталі Р18: тимчасовий опір збільшується на 14-16%, твердість металу збільшується на 15 - 16 %, а відносне подовження - на 30-45 %.

Список літератури: 1. Борисов, Г.П. Давление в управлении литейными процессами [Текст] / Г.П. Борисов. – К.: Наукова думка, 1988.– 271 с. 2. Ефимов, В.А. Перспективы развития работ по применению внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся расплав [Текст] / Влияние внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся металл // Под ред. В.А. Ефимова. - Киев: Изд. ИПЛ АН УССР. - 1983. - С. 3-21. 3. Батышев, А.И. Кристаллизация металлов и сплавов под давлением / А.И. Батышев. – М.: Металлургия, 1990. – 144 с. 4. Скворцов, А.А. Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок [Текст] / А.А. Скворцов, А.Д. Акименко, В.А. Ульянов– М.: Металлургия, 1995. – 272 с. 5. Ефимов, В.А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов [Текст] / В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. – М.: Металлургия, 1995. – 272 с. 6. Батышев, А.И. Штамповка жидкого металла (Литье с кристаллизацией под давлением) [Текст] / А.И. Батышев, Е.М. Базилевский, В.И. Бобров, Ф.А. Мартынов, Ю.А. Евстратов. – М: Машиностроение, 1979. – 200 с. 7. Чернов, Н.М. Формирование стальных отливок по выплавляемым моделям с кристаллизацией под давлением [Текст] / Н.М. Чернов, М.Д. Пархоменко, В.Н. Гречко, Ю.А. Караник // Литейное производство. – 1993.- № 4. – С. 22 - 24. 8. Чернов, Н.И. Литье алюминиевых заготовок по выплавляемым моделям с кристаллизацией под давлением [Текст] / Н.И. Чернов, А.И. Игнатов, В.Н. Гречко // Литейное производство. – 1995. № 2. – С. 12 - 13. 9. Медведев, К.А. Литье по выплавляемым моделям с кристаллизацией под давлением коррозионно-стойких сталей [Текст] / К.А. Медведев, Н.М. Чернов // Литейное производство. – 2006. № 1. – С. 20 - 23. 10. Деклараційний патент, Україна МПК (2006) В22D 18/00 Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. № 28859 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007 Бюл. № 21. 11. Деклараційний патент, Україна МПК (2006) В22D 18/00 Спосіб отримання виливків/ Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. № 28858 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007 Бюл. № 21. 12. Селівьорстов, В.Ю. Дослідження газодинамічного впливу на властивості литої вуглецевої сталі [Текст] / В.Ю. Селівьорстов // Теорія і практика металургії. – 2007. - № 4-5. – С. 22 - 25. 13. Селиверстов, В.Ю. Влияние газодинамического воздействия на распределение сульфидных включений в цилиндрической отливке из углеродистой стали, затвердевающей в кокиле [Текст] / В.Ю. Селиверстов, Т.В. Михайловская, Ю.В. Доценко, Ю.А. Мушенков // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. - №5. - С. 40 – 43. 14. Селівьорстов, В.Ю. Особливості структуроутворення литої вуглецевої сталі при газодинамічному впливі [Текст] / В.Ю. Селівьорстов, В.Є. Хричиков, В.З. Куцова, О.А. Носко, Ю.В. Доценко, П.Д. Куш // Теорія і практика металургії. – 2009. - № 5-6. – С. 80-85. 15. Selivorstov, V. Al-Si alloys structure formation using gaso-dynamic modification [Текст] / Selivorstov V., Dotsenko Y., Borodianskiy K., Kossenko A., Zinigrad M. // Proceedings of the 8th Israel-Russian Bi-National Workshop [The Optimization of the Composition, Structure and Properties of Metals, Oxides, Composites, Nano- and Amorphous Materials] (Jerusalem, Israel, June 28 – July 03, 2009). – The Israeli Academy of Science and Humanities, The Russian Academy of Science, p. 143-150.

УДК 628.971

О.Ю.ПОЛИЩУК, аспірант, ХНАМГ, г. Харків

В.М.ПОЛИЩУК, канд. техн. наук., доц., ХНАМГ, г. Харків

В.Ф.РОЙ, д-р ф-м. наук, проф., ХНАМГ, г. Харків

ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНИЙ СВІТЛОДІОДНИЙ ПРИСТРІЙ

На базі експериментального дослідження енергоефективності світлодіодів змінного струму типу «Acrichе», в якості енергоощадних джерел випромінювання для освітлювальних установок широкого спектру призначення, розроблено електричний блок живлення, який дає змогу довести ефективність роботи світлодіодного модуля майже до 100 %.

On base researches energy efficacious light-emitting diodes of an alternating current such as "Acrichе", in quality conserve energy sources of radiation for lighting installations of a wide spectrum of purpose, it is developed electronic power unit which enables to finish efficiency work of the light-emitting diode module almost with 100 %.

Одним з важливих засобів по підвищенню енергоефективності освітлювальних установок (ОУ), що широко використовуються в промисловості та комунальному господарстві, є використання енергоекономічних джерел випромінювання. Значні резерви економії електроенергії (ЕЕ), що споживається ОУ всіх типів, знаходяться усфері освітлювання промислових, суспільних та житлових приміщень. Реальним практичним засобом енергозбереження в цій галузі на даному етапі, є широке впровадження енергоощадних інтегрованих компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ), які в 6-8 разів більш енергоекономічні, та мають в стільки ж разів більший строк служби в порівнянні з лампами розжарювання. Завдяки малим габаритам КЛЛ відносно легко адаптуються до сучасних світлових приладів, що дає змогу використовувати їх з існуючою світлотехнічною арматурою. Але КЛЛ по відношенню до живлячої мережі є суттєво нелінійним елементом, що споживає струм, який має імпульсний характер, містить велику кількість вищих гармонік і має коефіцієнтом викривлення синусоїдальності від 82% до 94% і величину неактивних складових повної потужності – від 40 до 50 % [1], що суперечить нормам міжнародного стандарту EN 61000-3-3 [2] щодо допустимого рівня генерації вищих гармонік. Тобто КЛЛ споживає значно більше електроенергії для генерації нормованого світлового потоку, тому її енергоекономічність менша, ніж рекламується. Таким чином, масове впровадження КЛЛ суттєво загострює проблему якості ЕЕ в низьковольтних електричних мережах з негативними наслідками для споживачів. Тому широке впровадження КЛЛ можна вважати перехідним етапом до використання більш досконалих джерел світла, якими є нові потужні світлодіоди (СД), засновані на використанні явища інжекторної електролюмінісценції. СД мають ряд суттєвих переваг як перед лампами розжарювання, так і перед люмінесцентними, включаючи КЛЛ. Це, насамперед, низьке електроспоживання, висока світлова віддача (до 100 лм/Вт), та строк служби (до 50 тис. годин), малі

габарити та масу, безпечність в експлуатації, екологічність, - тому впровадження СД дасть змогу зробити якісний стрибок у сфері енергозбереження в ОУ.

Дана робота присвячена експериментальному дослідженню електроенергетичних характеристик СД змінного струму типу “Acriche”, розрахованого на живлення безпосередньо від мережі 220 В і розробці електронної схеми високочастотного живлення для покращення його енергоекономічних показників. СД “Acriche” являє собою модуль, який складається з двох діодних ланцюжків світло випромінюючих елементів, ввімкнутих зустрічно-паралельно, внаслідок чого кожен з них працює у відповідний напівперіод синусоїдальної напруги. СД виготовляються двох електричних потужностей: 2 Вт (серії AN2200 і AW2200) та 3,3 Вт (серії AN3200/AN3200 і AW3200/AW3200) і відрізняються кольором випромінювання [3]. Світловий потік СД лінійно залежить від напруги живлення, що дозволяє реалізувати режим динамічного освітлення приміщень. Оскільки СД модуль складається з великої кількості мініатюрних випромінюючих елементів з'єднаних послідовно, нижня межа напруги запалення визначається сумарною кількістю цих елементів, яка в нашому випадку складала 150 В.

На рисунку 1 приведені осцилограми роботи СД “Acriche” при живленні напругою 220 В 40 кГц (крива 1), та меандром тієї ж частоти (крива 2).

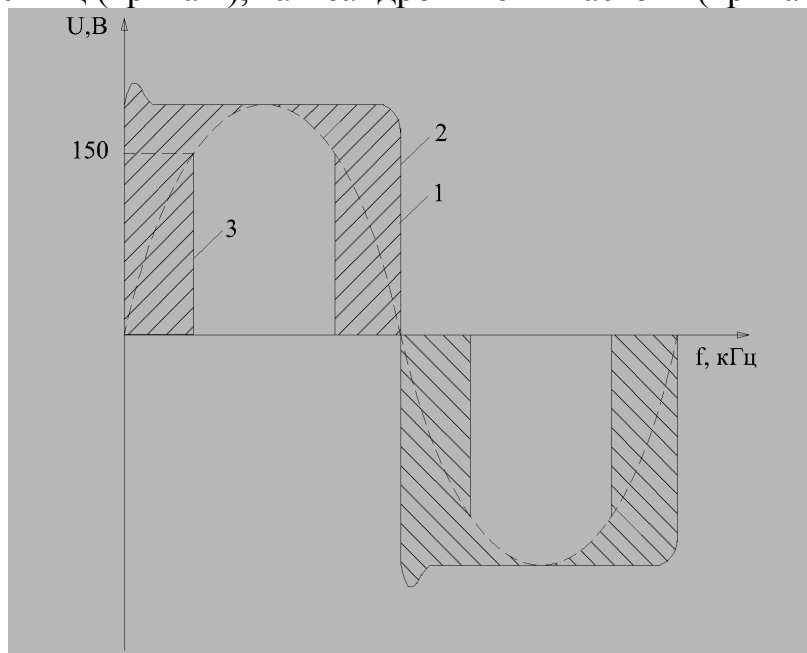


Рис.1. Осцилограми роботи СД-модуля “Acriche”.

З рисунку видно, що при живленні напругою синусоїдальної форми, СД модуль запалюється при напрузі ~ 150 В і при такій же напрузі гасне на протязі одного напівперіоду (крива 3). Тривалість робочого циклу випромінювання світлового потоку СД складає лише 60 % тривалості на півперіоду синусоїдальної напруги, тобто відбувається неповне використання електричної енергії.

При живленні СД змінною напругою прямокутної форми (меандром), коефіцієнт використання напруги наближається до одиниці (крива 2). Використання для живлення СД частоти 40 кГц дозволило мінімізувати розміри блоку живлення, зокрема використати плату і елементи схеми від мініатюрного електронного блоку КЛЛ.

На рис. 2 приведено принципову електричну схему електронного блоку живлення СД модуля, яка містить діодний міст VD1, накопичувальний конденсатор C1, автогенераторний міст VT2-VT4 зі зворотними діодами VD2-VD4 та трансформатор Т.

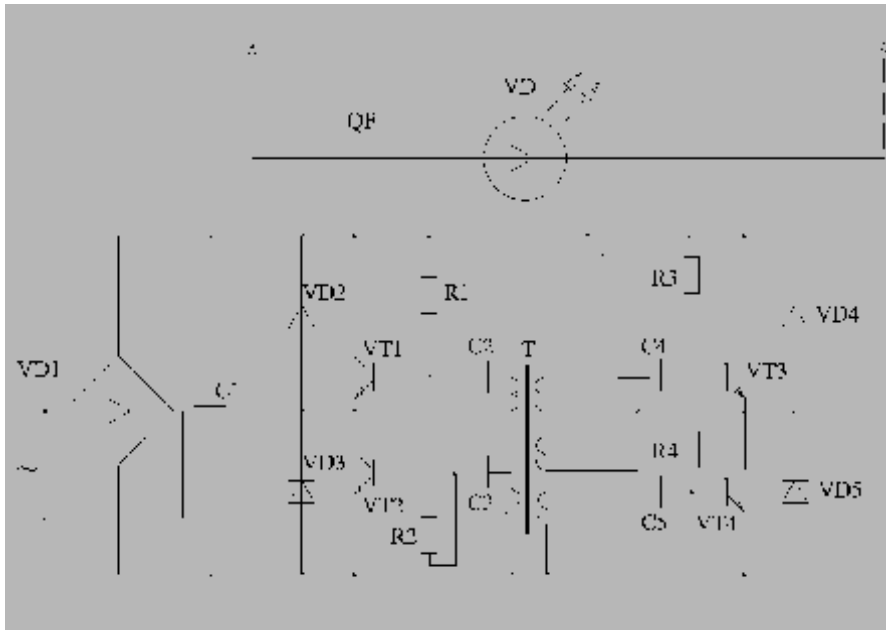


Рис.2. Принципова електрична схема блоку живлення СД-модуля

В діагональ моста ввімкнено СД модулі. При подачі змінної напруги від живлячої мережі 220 В на вхід діодного мосту заряджається накопичувальний конденсатор С1 з виходу якого постійна напруга подається на мостовий генератор, який є транзисторним мостовим інвертором з самозбудженням. Вихідна напруга з діагоналі мосту у вигляді меандру подається на СД-модуль змінного струму. При цьому повністю відсутні паузи в роботі модуля, світловий потік випромінюється на протязі усього меандру при синусоїдальній формі робочого струму живлячої мережі. Запропонований пристрій спроможний живити значну кількість СД-модулів, число яких визначається лише максимальним робочим струмом силових транзисторів мостового генератора.

Таким чином наведені дані свідчать, що при використанні запропонованого електронного блоку живлення СД модуля змінного струму “Acriche” меандром, майже на 40 % збільшується ефективність використання електроенергії і, відповідно, світловіддача за період напруги. Враховуючі, що вартість електричної схеми блоку складає лише 2 % від вартості самого СД модуля, доцільність його застосування є, безумовно, техніко-економічною виправданою.

Список літератури: 1. Жаркин А.Ф., Козлов А.В. Анализ эффективности энергосберегающих КЛЛ // Светотехника та електроенергетика. – 2007.- №1(9). –С.4-9. 2. Международный стандарт. EN 61000-3-2^2000/ Electromagnetic compatibility (EMC)- Part 3-2: Limits-Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤16 A per phase). 3. Вон Кук Сон. О светодиодных модулях «Acriche». Светотехника,2007,-№6, С.54.

Поступила в редколлегию 25.01.2010

СОДЕРЖАНИЕ

А.П. Мельник, В.Ю. Папченко Дослідження одержання азото-, кисеньвмісних похідних жирних кислот амідуванням соняшникової олії діетаноламіном	3
А.П.Бєлінська Вплив фізико-хімічних показників на стійкість до окиснення олійного розчину β -каротину	6
М.М. Гивлюд, І.В., Ємченко, О.І. Передрій, О.Я. Пітак Вплив каолінового волокна на властивості оксидно-силікатних захисних покриттів, одержаних на основі поліалюмосилоксанової зв'язки	11
А.П. Мельник, С.Г. Малік Паливо з відновлювальної сировини	15
О. В. Шестопапов, М. А. Цейтлін, В. Ф. Райко Моделювання процесу осідання твердої фази в соляній камері під час закладки її відходами	18
Г.В.Слепцов, И.Ю.Бойко, Е.С. Лисогор Физико-химическая очистка сточных вод мясоперерабатывающего завода	24
Н. Н. Зипунников, Б. А. Трошенькин Зависимость полноты реакции получения водорода от основных параметров процесса	28
Д.А. Дємин Совершенствование процессов управления электроплавкой	33
П.М. Андренко, М.С. Свиначенко Дослідження робочого процесу в гідравлічному гасителі пульсацій тиску	45
П.М. Андренко, О.В. Дмитрієнко, І.П. Гречка Багатокритеріальна оптимізація параметрів гідроагрегату верстату для намотування обмоток електродвигунів	53
Н.И. Кубышкина Сопоставительный анализ аппаратов для гальванизации и лекарственного электрофореза, используемых в медицинских учреждениях	60
А. Г. Журило, Д. Ю. Журило Побудова деяких машинобудівних креслеників при кресленні елементів ливарної форми	72

О. А. Дітковська	77
Дослідження впливу зміни розмірів фігури дівчаток молодшої шкільної групи на параметричну характеристику базової основи сукні	
Д.И. Курандо	83
Розрахунок формозміни енергосилових параметрів прокатки одногребневих профілів	
Ю. В. Доценко	86
Підвищення механічних властивостей виливків із сплаву АК9, отриманих способом лиття під високим тиском	
Селівьорстов В. Ю., Куш П. Д.	89
Використання технології газодинамічного впливу на розплав при литті по витоплюваним моделям	
О.Ю.Поліщук, В.М.Поліщук, В.Ф.Рой	95
Енергоекономічний світлодіодний пристрій	

Наукове видання

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск

"Нові рішення в сучасних технологіях"

Випуск №4

Технічний редактор Т.Л. Коворотний

Відповідальний за випуск В.М. Луньова

Обл.-вид. №69-10

Підписано до друку 29.03.2010. Формат 60x84/16 Папір офсетний.
Друк різнографічний. Ум.-друк. арк. 8. Зам. №4

Надруковано у видавництві "Технологічний центр".
61145 Харків, вул. Новгородська 3а
Тел./факс (057) 750-89-90