

## ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

- Товажнянский Л. Л., Капустенко П. А., Хавин Г. Л., Рыщенко И. М., Арсеньева О. П.*  
 Модернизация теплообменного оборудования при реконструкции заводов по  
 производству фосфорной кислоты 3
- Скрильник К. Ю., Мухаммед Галеб Насер Аль-Шаммар, Кримов А. П.*  
 Аналіз технологій для підвищення ефективності роботи системи збору газу 7

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

- Кошельник О. В., Хавін Є. В, Павлова В. Г.*  
 Моделювання роботи теплообмінних апаратів систем енерго- та теплопостачання  
 високотемпературних технологічних установок 14
- Бобух А. А., Ковалев Д. А., Дзевочко А. М., Подустов М. А., Костенко Ю. В.*  
 Помехоустойчивый алгоритм адаптивного управления 19
- Братах М.І., Заїд Халїл Ібрахім, Гребенюк С.Д.*  
 Вплив гідравлічного стану системи промислових газопроводів на режими роботи  
 об'єктів газовидобувного комплексу 22
- Ульянов В. П., Булавин В. И., Крамаренко А. В., Ульянова И. В.*  
 Автоматизированный контроль технологического процесса восстановительной  
 термообработки железосодержащих пылей и шламов основных металлургических  
 переделов с получением металлизированных окатышей 27
- Алексахин А. А., Ена С. В., Гордиенко Е. П.*  
 Оценка изменения параметров микрорайонной тепловой сети при переходе от  
 четырехтрубной системы теплоснабжения к двухтрубной 32
- Дудка С. В., Подустов М. О., Дзевочко О. М., Рищенко І. М., Кушинський С. І.*  
 Розробка математичної моделі і програмного забезпечення процесу  
 гранулоутворення мінеральних добрив 37
- Черкашенко М. В., Полушкин К. А.*  
 Синтез пневмоагрегата формовочного полуавтомата 42

## ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

- Шапоров В. П., Шестопалов А. В., Питак И. В.*  
 К вопросу об организации поточного производства нитевидных кристаллов  
 тугоплавких неорганических соединений методом кристаллизации из раствор-  
 расплавов на основе галоидов щелочных металлов 47
- Фик І. М., Хакар Махмоод Б. М., Топоров В. Г.*  
 Системний аналіз динаміки об'ємів видобутку газу з родовищ на завершальній

стадії їх розробки	60
<i>Веприк Ю. Н., Небера О. А.</i>	
Расчетные схемы электрических систем в переходных процессах и их эквивалентные преобразования	69
<i>Матвеева Т. В.</i>	
Новий погляд на купажовані олії	74
<i>Добрунов Д. Е., Пивень Е. Н., Первалов Л. И.</i>	
Экстракт из безлузгового ядра подсолнечника – антиоксидант для кондитерского жира	78
<i>Солнцева И. Л., Гришко Е. К., Белевцова Л. О., Хмелевская И. О., Луковенко А. А., Близнюк А. В.</i>	
Применение препрега при изготовлении комплектующих для протезно-ортопедических изделий	82
<i>Романова З. М., Косоголова Л. О., Арутюнян Т. В.</i>	
Особливості технології безалкогольних напоїв з використанням дикорослої ягідної сировини	85

#### **СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ**

<i>Шаблій Г. Ф., Анико О. Б.</i>	
Обеспечение экологической безопасности от потенциально опасных судов с использованием системы мониторинга судоходства	92
<i>Луценко М. В., Калина В. С., Семьяшкін О. Ю., Мельник М. М.</i>	
Сучасні європейські вимоги до якості соняшникової та коріандрової олії	96
<i>Кулик М. И.</i>	
Анализ энергетических ресурсов Украины	101
<i>Ульянов В. П., Булавин В. И., Крамаренко А. В., Ульянова И. В.</i>	
Углетермическое восстановление оксидов железа пылей и шламов основных металлургических переделов с получением металлизированных окатышей	110
<i>Бирюков И. Ю., Сиренко С. Н.</i>	
Интеграция дополнительной оптико-акустической системы разведки в систему управления огнем танка	119

УДК 66.045.1+661.634.2

Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л., Рыщенко И.М., Арсеньева О.П.

### МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕПЛОБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗАВОДОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ

В настоящее время проблема реконструкции существующего оборудования установок по производству фосфорной кислоты, расположенных по всему миру встала особенно остро. Такое положение дел можно объяснить следующими факторами глобального характера [1,2]:

- произошел резкий рост цен на фосфатную руду (особенно в 2008 г.) и, как следствие, на фосфорную кислоту и фосфатные удобрения (87 % всех производимых фосфатов);
- рост цен на зерновые культуры спровоцировал рост цен на фосфорную кислоту и удобрения;
- обозначилась мировая тенденция снижения качества фосфатной руды, что привело к увеличению выпуска низкосортных концентратов фосфорной кислоты;
- рост цен на энергоносители, что требует внедрения энергосберегающих технологий и повышения эффективности оборудования;
- ввод новых мощностей по производству фосфорной кислоты непосредственно на местах добычи фосфатной руды;
- появление новых экспортеров фосфорной кислоты и удобрений (Китай) сравнительно низкой стоимости.

Основная трудность заключается в том, что необходимо модернизировать технологию при низких инвестиционных затратах и практически без остановок производственного процесса, обеспечивая при этом повышение производительности и сохранение экологических норм. Мировой рост потребления минеральных удобрений требует увеличения выпуска сырья для их производства и, в первую очередь, фосфорной кислоты. Основным сырьем промышленности минеральных удобрений является экстракционная фосфорная кислота (ЭФК) и главным способом ее получения – сернокислотное разложение фосфатов.

Наиболее распространенным из экстракционных сернокислотных способов получения фосфорной кислоты является дигидратный способ. Применяется также полугидратный и комбинированные способы, такие как дигидратно-полугидратный и полугидратно-дигидратный. Они различаются, прежде всего, по процессам кристаллизации сульфата кальция.

Изучение стандартной схемы получения ЭФК показывает, что главный путь увеличения выпуска кислоты, совершенствования и интенсификации процесса производства состоит в оптимизации условий разложения фосфатов и кристаллизации сульфата кальция в реакционном объеме. Это требует совершенствования технологического процесса и улучшения аппаратного оформления основного оборудования. Однако повышение требований к производству заставляют обратить внимание и на вспомогательное оборудование, такое как теплообменные аппараты, использующиеся в технологической цепочке в качестве подогревателей и охладителей продуктовых и вспомогательных потоков [3,4].

В настоящее время на большинстве химических производств существует устойчивая тенденция замены кожухотрубного теплообменного оборудования на пластинчатое. Такая замена приводит к существенной экономии средств в процессе эксплуатации, а также обеспечивает простоту в обслуживании и переналадке [5]. Кроме того, компактность пластинчатых теплообменников позволяет при их установке существенно экономить производственные площади и облегчает доступ к основному оборудованию.

Анализ общей принципиальной схемы производства ЭФК [6,7] показывает, что для схемы влажной экстракции пластинчатые теплообменные аппараты могут быть установлены на следующих позициях:

- охлаждение раствора нагретой серной кислоты (78–98 %  $H_2SO_4$ ) – пластинчатый теплообменник;
- охлаждение слабоконцентрированной фосфорной кислоты (3 %) после промывки осадка на фильтре – пластинчатый теплообменник;
- нагрев 30 % фосфорной кислоты перед сернокислым осаждением – спиральный или пластинчатый теплообменник;
- охлаждение фосфорной кислоты (конечного продукта) с концентрацией 40–42 % или 50–54 %  $P_2O_5$  после выпаривания – пластинчатый или спиральный теплообменник;
- охлаждение скрубберной кислоты (8–11 %  $H_2SiF_6$ );
- выпаривание фосфорной кислоты;
- охлаждение воды, орошающей барометрические конденсаторы смешения в технологической схеме выпарной станции.

При установке пластинчатых теплообменников необходим корректный выбор материала пластин с учетом концентрации кислоты, ее температуры, количества и состава примесей. Присутствие Cl, F,  $H_2SO_4$  уменьшают сопротивление металла пластин коррозии, наличие Fe и Al наоборот усиливают со-

противление. В любом случае для выбора пластинчатого или спирального аппарата очень важно знать содержание гипса в кислоте. На основе имеющегося опыта эксплуатации можно рекомендовать выбор материала теплопередающей поверхности: для кислоты с 50 %  $P_2O_5$  при температуре < 85 °С, при наличии примесей 1%  $HF$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ , 4%  $H_2SO_4$ , 600 ppm  $HCl$  можно использовать 254 SMO. Для кислоты с 50 %  $P_2O_5$  при температуре > 85 °С, при наличии выше приведенных примесей, желательно применять материал G30 или графит. В качестве материала прокладок – EPDM.

При работе аппаратов на нагреве-охлаждении фосфорной кислоты имеет место интенсификация загрязнения теплопередающей поверхности. Поэтому расчет теплообменников обязательно производится с запасом по коэффициенту теплопередачи не менее 10 % (margin 10 %) и при этом контролируется величина касательного напряжения на стенке пластины по стороне фосфорной кислоты  $\tau > 50$  Па. Также следует заметить, что выбор большого запаса может привести к снижению скорости теплоносителей в каналах аппарата, и привести к усилению скорости появления отложений на поверхности пластин.

Процессы, протекающие в теплообменных аппаратах при производстве фосфорной кислоты, сопровождаются высоким риском выпадения на теплопередающей поверхности гипса и фторидов. При значительном содержании гипса рекомендуется устанавливать либо ширококанальный пластинчатый аппарат с широким каналом по стороне кислоты (Wide Gap), либо спиральный теплообменник.

Ширококанальный аппарат обязательно рассчитывается многоходовым для обеспечения рациональной скорости теплоносителей в каналах, что связано с необходимостью максимально учитывать вероятность высокой интенсивности загрязнения. Для этого расчет теплообменника обязательно производить с запасом по коэффициенту теплопередачи не менее 10 % (margin 10 %) и контролировать величину касательного напряжения на стенке пластин по стороне фосфорной кислоты не менее  $\tau > 50$  Па.

При выборе спирального аппарата в качестве материала теплопередающей поверхности используют: AISI 316L, 904L, 254 SMO, Sanicro 28, C-276, G30 (в порядке возрастания); прокладки – MS2000 (клингерсил) или PTFE. Минимальный зазор между спиральями по обеим сторонам – 10 мм; фактор загрязнения – 0,001. Зазор равный по обеим сторонам дает возможность переключения сторон кислоты и воды для промывки. Водой можно чистить сторону кислоты, а кислотой растворять налет на поверхности пластин по стороне воды. В процессе проектирования спирального аппарата необходимо контролировать температуру стенки по стороне кислоты, не допуская увеличения скорости коррозии для горячего конца аппарата. Скорость по стороне кислоты должна быть выше 1 м/с (во избежание отложений на стенке) и ниже 1,5 м/с, так как при более высокой скорости величина коррозии очень резко возрастает.

Одним из наиболее существенных резервов при модернизации работающего завода является сокращения времени простоя установки, необходимого для очистки барометрических конденсаторов, снижения продолжительности циклов работы фильтра и повышения надёжности работы всего оборудования. Сокращение времени необходимого для чистки барометрических конденсаторов позволяет самым существенным образом увеличить производительность производства. Так, реконструкция фосфорнокислотной установки, проведенная бразильской компанией Ultrfert [1,2], благодаря сокращению времени простоя увеличила производительность с 300 до более чем 400 т/сут.

Таким образом, сокращение времени чистки барометрического конденсатора позволяет увеличить производительность основного производства фосфорной кислоты. Для этого предлагается устанавливать параллельно дополнительный пластинчатый барометрический конденсатор, который функционирует во время чистки основного, и тем самым обеспечивал безостановочную работу производства. Мощность дополнительного барометрического конденсатора предлагается выбирать такую же, как и у основного. В качестве аппаратной реализации предлагается использовать пластинчатый конденсатор, занимающий минимальную рабочую площадь и обеспечивающий высокую эффективность конденсации под вакуумом. Техническое обеспечение предложенной идеи и расчет пластинчатого барометрического конденсатора и составляют главную цель настоящей статьи.

В качестве барометрических конденсаторов современная практика все чаще предлагает использовать поверхностные конденсаторы вместо конденсаторов смешения. Это связано, прежде всего, с положительными сторонами такой замены, к которым можно отнести:

- установка пластинчатого конденсатора обеспечивает быстрое реагирование на изменения в системе барометрического конденсатора;
- экономия свежей воды;
- компактность установки, простота обслуживания и эксплуатации.

К недостаткам обычно относят загрязнение поверхности пластин в процессе эксплуатации, отвод неконденсирующихся газов и необходимость обеспечения малых потерь давления в аппарате, работающем под вакуумом. Рассмотрим расчет барометрического конденсатора для условий, представленных в табл. 1.

В качестве конденсатора под вакуумом рассчитаем аппарат марки AlfaCond серийно выпускаемы компанией «Альфа Лаваль», рис. 1. Системы AlfaCond специально разработаны для работы под вакуумом. Ввод пара имеет широкий канал, а выходы конденсата (2 вывода) – узкие каналы. Порты для подвода охлаждающей воды расположены в центральной части конденсатора и имеют каналы средней величины.



Рисунок 1 – Пластинчатый конденсатор AlfaCond

Пакет пластин установки AlfaCond состоит из пар пластин, сваренных вместе в кассеты. Такая конструкция позволяет реализовать два различных типа каналов: каналы внутри сваренной кассеты, использующиеся для конденсации пара, и каналы между прокладками кассет для движения охлаждающей воды. Специальная гофрировка пластин позволяет очень эффективно проводить конденсацию. При этом двухсторонняя гофрировка пластины имеет асимметричную конфигурацию: с широкими каналами для паровой фазы и узкими каналами для охлаждающей воды. Подобная конструкция пластины дает возможность реализовать малый перепад давлений по паровой стороне при сохранении высокой скорости и турбулентности по стороне охлаждающей воды. Это, в свою очередь, приводит к высокой эффективности теплопередачи и снижает возможность загрязнения теплопередающей поверхности пластин.

Главными преимуществами аппаратов типа AlfaCond являются следующие факторы:

- снижение затрат за счет малой материалоемкости и экономия производственных площадей;
- пониженная склонность к загрязнению за счет высокой турбулентности потока охлаждающей воды, создаваемая специальной гофрировкой пластины, что в значительной степени уменьшает образование загрязнений и отложений.
- легкость обслуживания, в том числе возможность менять производительность путем изменения числа кассет;
- противоточная схема создает возможность охлаждения неконденсируемых газов лучше, чем при применении кожухотрубных аппаратов, что позволяет уменьшить загрузку на вакуумный насос.

В качестве материала пластины примем сплав Hastelloy G-30, толщина пластины равна 0,6 мм, резиновые прокладки марки EPDM. Исходные данные для проектирования поверхностного (пластинчатого) барометрического конденсатора представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные данные для проектирования поверхностного (пластинчатого) барометрического конденсатора

Среда	Параметры				
	$t_{\text{вход}}, ^\circ\text{C}$ (пар)	$t_{\text{выход}}, ^\circ\text{C}$ (конденсат)	Расход, кг/ч	Предельные потери давления, кПа	Запас, %
Пар	47	38,7	5000	2,0	50
Охлаждающая вода	18	30	241500	30,0	50

В результате проведенных расчетов к установке может быть принят специальный пластинчатый конденсатор AlfaCond 600, с пластиной толщиной 0,6 мм, изготовленной из сплава Hastelloy G-30. Установка этого конденсатора объясняется, в первую очередь, большим расходом пара через присоединения. Специальный конденсатор AlfaCond 600 имеет коллектор по пару диаметром 600 мм и позволяет пропустить расход пара с приемлемой скоростью. Результаты расчета аппарата AlfaCond 600 представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Данные рассчитанного пластинчатого барометрического конденсатора

Марка теплообменника	Компоновка	Площадь теплообмена, $\text{м}^2$	Потери давления, кПа	
			Горячая сторона	Холодная сторона
Alfa Cond 600	1×43SW/ 1×42NG	60,2	1,9	24,6

Представленное моделирование узла барометрического конденсатора с кассетным пластинчатым теплообменником марки AlfaCond 600, с пластиной, изготовленной из сплава Hastelloy G-30, показывает возможность применения поверхностных конденсаторов не только вместо конденсаторов смешения, но и

в качестве дополнительного (резервного) барометрического конденсатора. Предложенное техническое решение применимо для реконструкции завода по производству экстракционной фосфорной кислоты и других предприятий, имеющих в составе технологического оборудования барометрический конденсатор.

Работа выполнена при финансовой поддержке Европейского сообщества в рамках проекта "Efficient Energy Integrated Solutions for Manufacturing Industries" – EFENIS, Grant Agreement No. ENER/FP7/296003/EFENIS.

### Литература

1. Мировое производство и спрос на фосфатное сырье и минеральные удобрения // Мир серы, N, P и K.– 2008. – №2.– С. 8–16.
2. Fertilizer international.– 2008.–N 422.
3. Проблемы и перспективы технической модернизации заводов по производству фосфорной кислоты / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, А.Ю. ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО, Г.Л. ХАВИН // Интегрированные технологии и энергосбережение.– 2006.–№2. – С. 75–79.
4. Анализ применения пластинчатого теплообменного оборудования в процессе производства экстракционной фосфорной кислоты / П.А. Капустенко, А.Ю. Перевертайленко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева // Интегрированные технологии и энергосбережение.– 2008.–№2.– С. 130–145.
5. Пластинчатые теплообменники в промышленности / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, Г.Л. ХАВИН, О.П. АРСЕНЬЕВА. – Харьков: НТУ «ХПИ».– 2004.– 232 с.
6. Копылев Б.А. Технология экстракционной фосфорной кислоты.– Л.: Химия, 1981.– 224 с.
7. Технология фосфорных и комплексных удобрений / Под ред. С.Д. Эвенчика, А.А. Бродского.– М.: Химия, 1987.– 452 с.

### Bibliography (transliterated)

1. Mirovye proizvodstvo i spros na fosfatnoye syire i mineralnyie udobreniya. Mir seryi, N, P i K.– 2008.– #2.– P. 8–16.
2. Fertilizer international.– 2008.–N 422.
3. Problemyi i perspektivy tehnicheskoy modernizatsii zavodov po proizvodstvu fosfornoj kisloty. L.L. Tovazhnyansky, P.A. Kapustenko, A.Yu. Perevertaylenko, G.L. Havin. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie.– 2006.– #2. – P. 75–79.
4. Analiz primeneniya plastinchatogo teploobmennogo oborudovaniya v protsesse proizvodstva ekstraktsionnoy fosfornoj kisloty. P.A. Kapustenko, A.Yu. Perevertaylenko, G.L. Havin, O.P. Arseneva. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie.– 2008.–#2.– P. 130–145.
5. Plastinchatyye teploobmenniki v promyshlennosti. L.L. Tovazhnyansky, P.A. Kapustenko, G.L. Havin, O.P. Arseneva. – Harkov: NTU «HPI».– 2004.– 232 p.
6. Kopylev B.A. Tehnologiya ekstraktsionnoy fosfornoj kisloty.– L.: Himiya, 1981.– 224 p.
7. Tehnologiya fosfornyyh i kompleksnyih udobreniy. Pod red. S.D. Evenchika, A.A. Brodskogo.– M.: Himiya, 1987.– 452 p.

УДК 66.045.1+661.634.2

ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., КАПУСТЕНКО П.О., ХАВИН Г.Л., РИЩЕНКО І.М., АРСЕНЬЕВА О.П.

### МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛОБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗАВОДІВ ПО ВИРОБНИЦТВУ ФОСФОРНОЇ КИСЛОТИ

Розглянуто проблему підвищення ефективності виробництва фосфорної кислоти за рахунок модернізації встановленого теплообмінного обладнання. Для зменшення простоїв виробництва при зупинці на чищення барометричного конденсатора запропоновано встановлювати паралельно пластинчастий конденсатор, що працює під вакуумом. Надано вибір і розрахунок пластинчастого касетного конденсатора AlfaCond виробництва «Альфа Лаваль».

Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Khavin G.L., Ryschenko I.M., Arsenyeva O.P.

### MODERNIZATION OF HEAT TRANSFER EQUIPMENT FOR PHOSPHORIC ACID FACTORY RECONSTRUCTION

The problem of increasing the efficiency of phosphoric acid production by modernizing the set of installed heat exchange equipment is considered. To reduce the downtime of production process when stopping for barometric condenser cleaning, the installation of plate condenser, which works under vacuum, is proposed. A selection and calculation of the cassette plate condenser AlfaCond produced by "Alfa Laval" are under consideration.

УДК 622.691.4

Скрильник К.Ю., Мухаммед Галеб Насер Аль-Шаммар, Кримов А.П.

**АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ЗБОРУ ГАЗУ**

Значна кількість газоконденсатних родовищ України знаходиться на завершальній стадії розробки, що характеризується певними ускладненнями в роботі як підземної частини родовища, так і об'єктів його наземної частини. Кінцевий етап завершальної стадії розробки ГКР на режимі виснаження в умовах тиску нижчого, ніж тиск максимальної конденсації суміші пласта характеризується різким погіршенням його енергетичних можливостей. В пластових умовах природний газ контактує зі зв'язаною водою і повністю насичений її парами. В процесі розробки родовища, в результаті зміни термодинамічних та швидкісних умов по шляху руху газу з пласта до споживача, частина води конденсується. Таким чином, відокремимо першу проблему в експлуатації наземних об'єктів родовища – забруднення шлейфів свердловин та промислових газопроводів рідиною.

Далі по трасі до споживача газ попадає на установку його попередньої або комплексної підготовки, де його параметри доводяться до вимог якості, які безпосередньо залежать від ефективності роботи сепараторів, що проєктувалися на тиск максимальної конденсації та певний компонентний склад газу на початок розробки родовища. Зміна газоконденсатної системи під час розробки родовища у режимі на виснаження та зміна тиску максимальної конденсації призводять до того, що обладнання УКПГ працює в умовах тиску та температури, які відрізняються від оптимальних для відбивання рідинної фази. Зміна тиску та температури під час транспортування газу системою газопроводів-відводів та магістральних газопроводів призводить до конденсації та осадження рідини на їх ділянках. Отже, другим важливим питанням в експлуатації наземної частини родовища є забруднення водою та конденсатом газопроводів-відводів та системи магістральних газопроводів, що транспортують газ власного видобутку [1].

За умови наявності в продукції свердловини пластової мінералізованої води виникають ускладнення, пов'язані з утворенням та відкладенням неорганічних солей у стовбурах видобувних свердловин, трубопроводах та промислового обладнанні. Ці відкладення, зазвичай, є твердими, мають добре зчеплення з поверхнею металу та важко піддаються видаленню. В сольових відкладеннях присутні також компоненти і продукти корозії металоконструкцій. Корозію газопромислового обладнання може спричинити наявність в пластовому газі агресивних компонентів: сірководню, діоксиду вуглецю, кислот жирного ряду (мурашиної, пропіонової, масляної). Агресивні компоненти в присутності води (підшовної, крайової, пластової) вступають з металами в хімічну реакцію, руйнуючи внутрішню поверхню свердловинного та наземного обладнання. Після тривалого терміну експлуатації свердловини, трубопроводи і обладнання газоконденсатних родовищ зазнають додатково зовнішньої корозії під дією атмосфери, пластових і ґрунтових вод, зовнішніх джерел струму та блукаючих струмів. Отже, третя за рахунком серйозна проблема – це корозія обладнання об'єктів наземної частини родовищ.

Окрім корозійного руйнування відбувається і ерозійний знос внутрішньої поверхні трубопроводів та обладнання установок за рахунок винесення твердих відкладень із стовбура свердловини: механічного пилу, глинистих включень тощо. Оскільки робочий тиск в промислових трубопроводах зазвичай низький, то складова втрат тиску на тертя і відповідна швидкісна складова підвищуються, а високі швидкості, як відомо, сприяють більш інтенсивному стиранню стінок трубопроводів та обладнання. Отже, наступним проблемним питанням є корозійне руйнування стінок трубопроводів та обладнання побічними продуктами видобутку газу [2].

І останнє: низький робочий тиск в контрольних точках наземної частини родовища ще не є причиною нехтування можливістю утворення гідратів, адже процес утворення їх є реакцією на сукупний вплив тиску та температури навколишнього середовища. Саме тому ця проблема для родовищ на завершальному етапі є актуальною більше в зимовий період експлуатації.

Очевидно, що уникнення ускладнень, викликаних сукупним або поодиноким впливом параметрів, притаманних цим проблемам, можливо за рахунок оперативного впровадження заходів щодо підвищення ефективності експлуатації об'єктів наземної частини родовищ.

Обґрунтуванню методів підвищення вуглеводневідачі нафтогазоконденсатних пластів на завершальній стадії розробки присвячено праці С.І. Закирова [3], Г.А. Зотова [4] та ін. Дослідженнями корозійного стану об'єктів газовидобувних підприємств займалися українські дослідники Мельник А.П., Сенишин Я.І. [5] та інші. Процеси транспортування газу системою промислових та магістральних газопроводів, що транспортують газ власного видобутку детально досліджувались фахівцями УкрНДДгазу: Капцовим І.І., Саприкіним С.О. [6], Бурнихом В.С.

[7]. Аналіз техніки та технології, що впроваджується на «старих» нерівнопрохідних газопроводах, виконано дослідниками Братахом М.І. та Фоменко О.В. [8].

В цій роботі ми проаналізуємо проблему експлуатації газопроводів для родовищ на завершальній стадії розробки в частині ефективності впровадження низки заходів щодо скорочення втрат тиску, викликаних наявністю рідини. Адже саме ця проблема в експлуатації газопроводів відображається на ефективності роботи всього комплексу: УКПГ, ДКС, свердловин тощо. Із перелічених п'яти проблем три тісно пов'язані із впровадженням заходів і засобів очистки внутрішньої порожнини.

Подивимось на забруднення, пробу якого відібрано із газозбірного колектора, щоб мати уяву, чому власне при слові очистка газопроводу ми маємо справу із рідиною (рис. 1). Дані рисунку яскраво свідчать про те, що основним забруднювачем порожнини газопроводів є рідини. Саме аналізу методів їх відведення і присвячену цю роботу.

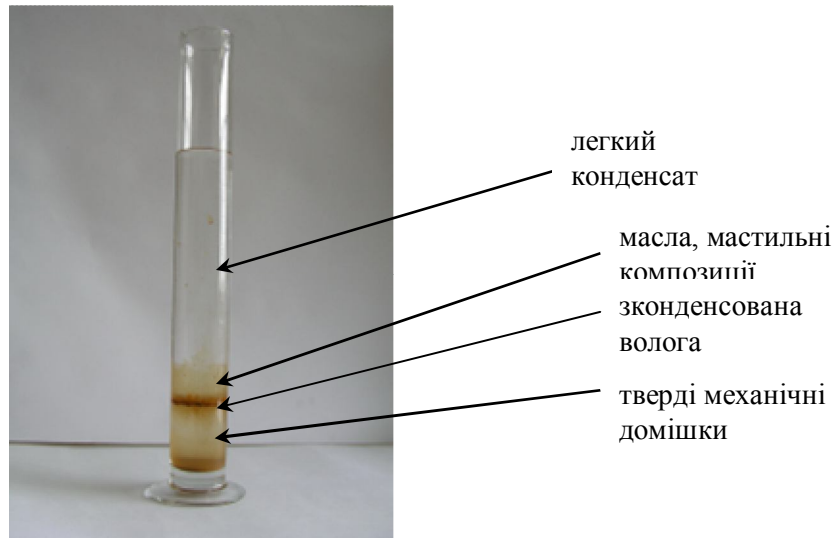


Рисунок 1 – Проба газу, яку відібрано із пристрою для відведення рідини між УКПГ – 23 та кр. 28

Роботу побудуємо наступним чином:

- класифікація всіх існуючих методів, способів і засобів для відведення рідини з порожнини газопроводів;
- їх системний аналіз з виділенням переваг та недоліків;
- аналіз ефективності впровадження на об'єктах газотранспортної системи.

Очистку порожнини діючого газопроводу з метою зменшення втрат тиску при транспортуванні природного газу можна здійснити одним із наступних способів:

- використовуючи пристрої для відведення рідини з газопроводу стаціонарної або періодичної дії;
- переводячи лінійні ділянки газопроводу в режим самоочищення (створення високошвидкісного потоку газу);
- використовуючи технічні засоби щодо введення реагентів для запобігання гідратуутворення.

Застосування стаціонарних пристроїв передбачає їх стаціонарну установку на трубі діючого газопроводу та періодичне обслуговування, пов'язане з відведенням рідини з приймачів забруднень, які входять до їхнього складу, або продувки в приймальну ємність.

Стаціонарні пристрої для відведення рідини з порожнини газопроводу можуть бути двох видів:

- вловлювачі забруднень (дрипи), що характеризуються відведенням рідини в приймач через з'єднувальні патрубки на нижній твірній трубопроводу;
- дренажні трубки (пір'я), які відводять рідину через верхню твірну діючого газопроводу.

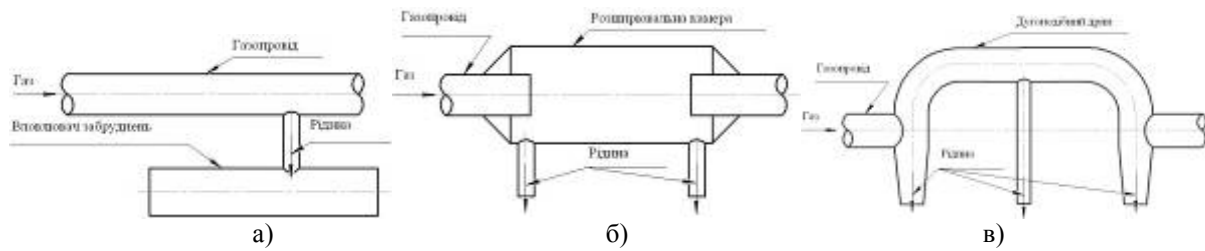
Виділення (відбивання) рідкої фракції з газового потоку в пристроях постійної дії базується на конструкціях конденсатозбірників (дрипів), що сприяють збору рідини, яка тече, зміні напрямку потоку газу, зниженню його швидкості та температури.

Конструкції вловлювачів забруднень класифікують наступним чином (рис. 2).

Іншим видом стаціонарних пристроїв для відведення рідини з газопроводу є дренажні трубки.

За рахунок своєї легкості в обслуговуванні, низької вартості та простоти конструкції такі пристрої знайшли широке застосування на газопроводах системи збору та видобутку газу, міжпромислових газопроводах і початкових ділянках магістральних газопроводів, після ДКС, ГС, ПГРС.





а) заглушена на кінцях та з'єднана патрубком з газопроводом труба; б) розширювальна камера; в) дугоподібний дрип

Рисунок 2 – Принципові схеми вловлювачів забруднень різних типів

Дренажну трубку врізають в понижені місця траси газопроводу (балки, пойми невеликих річок, заболочені місцевості). Її конструкція візуально схожа на перо, зрізаний край якого опускається в порожнину газопроводу до нижньої його твірної (рис. 3).

Простота конструкції дренажної трубки обумовлює можливість її модернізації за рахунок:

- автоматизації процесу, що забезпечує можливість періодичного скиду рідини в приймальну ємність;
- використання з'ємної (мобільної) конструкції дренажної трубки з пристроєм для відведення рідини у пересувні ємності в зазначені періоди обслуговування [9].

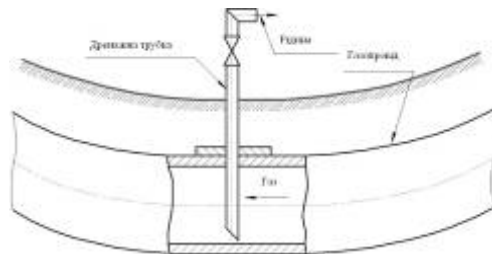


Рисунок 3 – Принципова схема відведення рідини з газопроводу за допомогою дренажних трубок

Періодичне відведення рідини з газопроводу здійснюють засобом пропускання поршнів, використовуючи при цьому енергію газового потоку. Тип обраного для очистки поршня залежить від призначення газопроводу і конструкції запірної арматури. Введення поршня в порожнину газопроводу в основному здійснюється через стаціонарні або мобільні камери запуску та прийому очисних поршнів.

Класифікуємо поршні, що використовуються, за сукупністю вищенаведених ознак:

1. Поршні, що використовуються для магістральних газопроводів та нових міжпромислових газопроводів, обладнаних камерами запуску та прийому очисних пристроїв і рівнопрохідною запірною арматурою:

- суцільнометалеві поршні-розділювачі, яскравим прикладом яких є поршень типу ОПРМ, виготовлений з авіаційних покришок. На порожнистому металевому корпусі поршня вільно розміщені авіаційні покришки з розпірними втулками між ними. В передній частині корпусу встановлюють герметичну перегородку та дисковий упор для покришок, а до задньої кріплять натискувальний фланець, що забезпечує осьове підтискання покришок;

- поршні-йорші (скребки) для видалення окалини, механічних речовин, а також витіснення рідини за допомогою дросельного кільця;

- газодинамічні установки, ефективність очистки внутрішньої поверхні при використанні яких забезпечується за рахунок використання в очисному пристрої газодинамічного сопла;

- турбоочисувачі, що використовують очисну установку з турбоприводом для забезпечення необхідної кількості очистки внутрішньої поверхні трансконтинентальних трубопроводів.

2. Поршні, що використовуються для очистки газопроводів, обладнаних камерами запуску та прийому очисних пристроїв з нерівнопрохідною арматурою, з наявністю вставок з труб різних діаметрів і значною кількістю переходів:

- еластичні гнучкі поршні з самоцільнювальними манжетами (поршні – калібри, складені з неопренових манжет і калібруючих пластин з наплавлюванням твердим сплавом);

- поршні-сфери, які являють собою порожні сфери з синтетичного або природного каучуку з товщиною стінок від 25–50 мм залежно від газопроводу, що очищується. Для придання герметичності під час прохо-

дження через порожнину газопроводу сфери наповнюються через спеціальні клапани водою, антифризом або гліцерином.

3. Поршні, що використовуються для очистки шлейфів свердловин і ділянок міжпромислових газопроводів, обладнаних нерівнопрохідною запірною арматурою:

– гелеві та пінні поршні, що базуються на введенні в порожнину газопроводу поверхнево-активних речовин (ПАР) зазначеної кратності і використанні їх в якості своєрідного поршня, що входить в контакт з рідиною та у вигляді суміші виштовхує її з порожнини газопроводу із зазначеною швидкістю.

Якщо недоліком перших двох груп поршнів є зношення основних пристроїв та висока імовірність застрягання в порожнині газопроводу, то застосування останньої групи пінних поршнів обмежується можливістю підтримання швидкості стабільності пінни в межах від 2 до 4 м/с.

Однак і ті, і інші отримали широке розповсюдження в нафтогазовій промисловості за рахунок простоти принципу дії: запасування (введення) пристрою в спеціально обладнану камеру запуску і проштовхування енергією газового потоку з певною швидкістю через порожнину газопроводу до камери прийому очисного поршня, де відбувається збір забруднень у відкриті чи закриті смності.

Способи переведення газопроводу в режим самоочищення передбачають створення умов режиму самоочищення при сезонних змінах газопостачання, під час пропускання потоку газу через дюкер чи основну нитку переходу газопроводу, а також при зміні режиму роботи нагнітачів компресорів на ДКС. Однак, для одноступінчатого газопроводу організація високошвидкісного потоку газу можлива лише за рахунок збільшення продуктивності ділянки, що виключає можливість застосування способу для газопроводів, які подають газ споживачам в якості кінцевого пункту транспортування, обмеженого рівнем газоспоживання.

При очистці газопроводу з наявністю компресорних станцій утворення в газопроводі імпульсного режиму робочого потоку газу за рахунок перепаду тиску досягають періодичним перекриттям порожнини газопроводу запірними лінійними кранами. Спосіб придатний і для очистки одноступінчатих газопроводів, на яких можна змінити на короткий час режим експлуатації газопроводу, а забезпечення споживачів газом при цьому проводять за рахунок спрацювання акумулюючої здатності газопроводу.

Однак, хоча цей спосіб широко використовується на лінійних ділянках газопроводів, він не враховує кінематику рідини по трасі газопроводу і вплив рельєфу місцевості прокладання ділянок газопроводу, не передбачає можливість визначення кількості рідини, що виноситься до обладнання об'єктів газовидобувної системи. Тому, достатньо часто використання такого способу призводить до простого розподілу мас рідини по застійних зонах ділянок газопроводу або ж до залпових викидів рідини на обладнання УКПГ, ДКС, ГС, ПГРС та його відмов з подальшим забрудненням навколишнього середовища.

Тому, головним завданням при використанні способу очистки газопроводу високошвидкісним потоком газу є визначення оптимальних величин параметрів, що характеризують такий потік, і величини об'єму забруднень, які виносяться з порожнини газопроводу.

Внаслідок наявності в газоконденсатній суміші водяної пари в шлейфах свердловин виникають умови для утворення кристалогідратів, які зовні нагадують сніг або лід і є фізико-хімічними сполуками води з вуглеводнями. За своєю структурою газові гідрати – це сполуки включення (тверді розчини), які утворюються шляхом проникнення молекул газу в порожнини кристалічних структур з молекул води. Узагальнена формула газових гідратів  $M \times nH_2O$ , де значення  $n$  змінюється в межах 5,75–17,0, в залежності від складу газу та умов виникнення гідратів.

На промислових газопроводах можуть використовуватись наступні способи попередження утворення гідратів:

- підтримка температури газу вищою за температуру утворення гідратів (попереднє підігрівання газу);
- зниження тиску газу в газопроводі до рівня, що нижче за тиск рівноваги утворення гідратів;
- введення в газопровід спеціальних речовин – інгібіторів, які перешкоджають гідратоутворенню;
- осушка газу перед подачею його в газопровід.

В якості інгібіторів можуть використовуватись метиловий спирт (метанол), розчин діетиленгліколю (ДЕГ), триетиленгліколю (ТЕГ) і розчин хлористого кальцію. Інгібітори, що введені в потік природного газу, частково поглинають водяну пару і переводять її в розчин, що не утворює гідратів або утворює їх при більш низьких температурах.

Зрозуміло, що кожен із перелічених методів для покращення ефективності роботи об'єктів та обладнання наземної частини має свої обмеження по застосуванню, що визначаються принципом дії, можливістю впровадження та ефективністю роботи.

Проаналізуємо ефективність роботи найбільш часто вживаних заходів та засобів для покращення роботи об'єктів газовидобувної системи протягом 1987–2010 рр. Всі дані взято зі звітів про науково-дослідні роботи, виконані відділом транспортування газу УкрНДІгазу.

Аналіз наведених в табл. 1 даних дає змогу констатувати наступне.

По-перше, впровадження заходів вимагає мінімуму капіталовкладень, оскільки заходи щодо очистки входять до складу експлуатаційних витрат, а ефективність їх у частині скорочення втрат тиску під час транспортування достатньо висока. Тому, для родовищ, що працюють у режимі на виснаження доцільно перед введенням в експлуатацію ДКС скоротити втрати тиску як в газопроводах системи збору і видобутку газу (шлейфах), так і газозбірних колекторах (промислових газопроводах).

Таблиця 1 – Систематизація впровадження заходів по звільненню порожнини газопроводів і шлейфів свердловин від накопиченої рідини та гідратів

Назва заходу	Рік впровадження	Місце впровадження	Прояви ефективності		
			Зменшення втрат тиску, кгс/см <sup>2</sup>	Зростання коефіцієнту гідравлічної ефективності, %	Збільшення продуктивності (зростання видобутку), тис.м <sup>3</sup> /доба
Врізання модернізованого уловлювача забруднень	1987	Міжпромисловий газопровід Новотроїцьк-Більськ-Солоха	-1,3	+20,03	немає даних
Врізання дренажної трубки	2008	Кільцевий газопровід Шебелинського ГКР	-1,65	+9,6	немає даних
Врізання мобільних конструкцій дренажних трубок	2009	МГ ШДК на ділянці між т.п. Єфремівського ГКР та лінійним краном на 120 км	-0,6	+23,2	+287,2
Врізання мобільних конструкцій дренажних трубок	2010	Газопровід-відвід Червонодінецька ДКС – МГ ШДК	-0,43	+47,6	+29,5
Очистка високошвидкісним потоком	2003	МГ ШДК	-2,3	+9,5	немає даних
Пропускання очисного поршня типу ОПРМ	2007–2009	МГ Шебелинка – Харків	-1,6	+42	+450
Пропускання очисного поршня зі змінними манжетами	2005	МГ ШДК на ділянці кр.№21 Б – Хрестищенська ДКС	-2,2	+10,2	немає даних
Пропускання пінного поршня	2010	Шлейфи Шебелинського ГКР	до -1,95	до +48,6	+10 – для високодебітних
Пропускання пінного поршня	2010	Міжпромисловий газопровід Кременівська УКПНГ – Перещепинська УКПГ	-1,6	+4,77	+134
Введення інгібітору гідратуутворення через свічу	2006	Ділянка газопроводу-колектору між УКПГ-23 та ГРС Шебелинського ГКР	-8,9	0	немає даних
Введення інгібітору гідратуутворення із попереднім розрахунком періодів активності за програмою	2009	Шлейфи Юліївського та Перещепинського НГП	від -3,2 до -16,0	Від -6,2	немає даних

По-друге, для газопроводів, що транспортують газ власного видобутку, включаючи ділянки магістральних газопроводів, але обладнаних нерівнопрохідною арматурою, доцільно провести заходи щодо врізання простих конструкцій дренажних трубок в пониженіх місцях траси, що виявилися значно ефективнішими за їх потужні аналоги типу уловлювачів забруднень у короткотерміновому еквіваленті. Очевидно, що для газопроводів, обладнаних стаціонарними камерами запуску та прийому очисних пристроїв та рівнопрохідною запірною арматурою, слід застосувати багаторазовий пропуск очисних пристроїв, про що яскраво свідчить зростання продуктивності газопроводу Шебелинка-Харків в умовах низького тиску.

По-третє, застосування комплексу заходів по очистці газопроводів пінними поршнями є ефективним для шлейфів свердловин малого діаметру, хоча витратне з точки зору втрат газу. Для між-промислових газопроводів великого діаметру цей спосіб виявився вельми неефективним, оскільки неможливо підтримати стабільну оптимальну швидкість руху пінного поршня.

Швидкісний потік, попри свою ефективність і найнижчу серед усіх перелічених способів вартість, має певні обмеження по застосуванню, які визначаються необхідністю створення великого перепаду тиску на запірному

органі та швидкістю циклу його відкриття-закриття. Будь-яке відхилення від підібраних розрахункових параметрів відповідно відображається на зниженні ефективності впровадження.

Слід також звернути увагу, що введення інгібітору гідратуутворення різко знижує наявні втрати тиску на проблемній ділянці, але в підсумку знижує ефективність її роботи. Пояснюється це тим, що метанол в умовах низьких швидкостей газу, притаманних низькодебітним свердловинам і газопроводам, що подають газ безпосередньо споживачу, осідає разом із водою та конденсатом в понижених місцях траси і призводить до утворення гідравлічної пробки.

Результати впровадження заходів щодо очистки газопроводів свідчать про те, що доцільність використання того чи іншого методу залежить від окремої ланки газопроводів. Так, для газопроводів системи збору і видобутку газу (шлейфів свердловин) – це очистка пінними поршнями і, без сумніву, продувка шлейфів. Для системи міжпромислових і магістральних газопроводів з нерівнопрохідною арматурою – врізка дренажних трубок і також створення високошвидкісного потоку газу. Для системи магістральних газопроводів з рівнопрохідною арматурою – очистка шляхом пропускання очисних поршнів.

Але, оскільки всі методи, хоча б за одним проявом показують свою ефективність, то їх впровадження на об'єктах газовидобувної галузі є однозначно вигідним. Головним же проявом ефективності для газовидобувного підприємства в частині транспортування газу є зменшення втрат тиску по всіх ланках системи (свердловина – шлейф – УКПП – газозбірний колектор – промисловий газопровід - ДКС (ПГРС) – магістральний газопровід – газопровід-відвід – низьконапірна мережа – споживач), оскільки чим нижчі ці втрати, тим меншим значення тиску буде на гирлі свердловин, тим більший видобуток газу буде досягнуто.

### Література

1. Дячук В.В. Очистка газопроводов с помощью пен / В.В. Дячук, В.К. Тихомиров, В.Н. Гончаров, И.И. Капцов. – Харьков, 2002. – 210 с.
2. Коршак А.А., Основы нефтегазового дела / А.А. Коршак, А.М. Шаммазов // Учебник для вузов.– Уфа, 2005.– 528 с.
3. Закиров С.И. Проектирование и разработка газовых месторождений / С.И.Закиров, З.С. Алиев. – М.: Недра, 1974. – 376 с.
4. Зотов Г.А. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин / Г.А.Зотов, З.С.Алиев. – М.: Недра, 1980. – 300 с.
5. Мельник А.П. Обзор методов оценки скорости коррозии / А.П. Мельник, Я.І. Сенишин, П.Ф. Слесар, Л.Д. Шашора // Питання розвитку газової промисловості України. Зб. наук. пр., вип. XXVIII, УкрНДІгаз, Харків. 2000 р.
6. Капцов І.І. Зниження втрат тиску в системі газопроводів як один із чинників збільшення обсягів видобутку газу на родовищах / І.І. Капцов, С.О. Саприкін, М.І. Братах, В.С. Співак // Нафтова і газова промисловість. – № 2.– 2009. – С. 58–59.
7. Бурных В.С. Увеличение пропускной способности газопровода ШБКБ (на участке Шебелинка – Белгород) / В.С. Бурных, М.Ф. Ткаченко // Нефтяная и газовая промышленность, № 4. – Киев: Техника. 1964. – С. 57–60.
8. Братах М.І. Аналіз технічного рівня техніки та технології очистки газопроводів з нерівнопрохідною арматурою / М.І. Братах, О.В. Фоменко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ: ІФНТУНГ, – вип. № 3(4) – Івано-Франківськ, 2002. – С. 11–14.
9. Пат. № 48923 Україна, МПК (2009) F16T 1/00. Пристрій для видалення рідини з донної частини трубопроводу / Капцов І.І., Шапар І.О., Братах М.І. (Україна). № заявки у 200910670; Заявл. 22.10.2009; опубл. 12.04.2010, Бюл. № 7, 2010.

### Bibliography (transliterated)

1. Dyachuk V.V. Ochistka gazoprovodov s pomoschyu pen. V.V. Dyachuk, V.K. Tihomirov, V.N. Goncharov, I.I. Kaptsov. – Harkov, 2002. – 210 p.
2. Korshak A.A., Osnovyi neftegazovogo dela. A.A. Korshak, A.M. Shammazov. Uchebnik dlya vuzov.– Ufa, 2005.– 528 p.
3. Zakirov S.I. Proektirovanie i razrabotka gazovyih mestorozhdeniy. S.I.Zakirov, Z.S. Aliev. – M.: Nedra, 1974. – 376 p.

4. Zotov G.A. Instruksiya po kompleksnomu issledovaniyu gazovyih i gazokondensatnyih plastov i skvazhin. G.A. Zotov, Z.S. Aliev. – M.: Nedra, 1980. – 300 p.
5. Melnik A.P. Oglyad metodiv otsinki shvidkosti koroziyi. A.P. Melnik, Ya.I. Senishin, P.F. Slesar, L.D. Shashora. Pitannya rozvitku gazovoyi promislivosti Ukraini. Zb. nauk. pr., vip. XXVIII, UkrNDIgaz, Harkiv. 2000 r.
6. Kaptsov I.I. Znizhennya vtrat tisku v sistemi gazoprovodiv yak odin iz chinnikov zbilshennya obsyagiv vidobutku gazu na rodovischah. I.I. Kaptsov, S.O. Saprikin, M.I. Bratah, V.E. Spivak. Naftova i gazova promislivost. – # 2.– 2009. – P. 58–59.
7. Burnyih V.S. Uvelichenie propusknoy sposobnosti gazoprovoda ShBKB (na uchastke Shebelinka – Belgorod). V.S. Burnih, M.F. Tkachenko. Neftyanaya i gazovaya promyishlennost, # 4. – Kiev: Tehnika. 1964. – P. 57–60.
8. Bratah M.I. Analiz tehnicnogo rivnya tehniki ta tehnologiyi ochistki gazoprovodiv z nerivnoprohidnoyu armaturoyu. M.I. Bratah, O.V. Fomenko. Rozvidka ta rozrobka naftovih i gazovih rodovisch: IFNTUNG, – vip. # 3(4) – Ivano-Frankivsk, 2002. – P. 11–14.
9. Pat. # 48923 Ukrayina, MPK (2009) F16T 1/00. Pristriy dlya vidalennya ridini z donnoyi chastini truboprovodu. Kaptsov I.I., Shapar I.O., Bratah M.I. (Ukrayina). # zayavki u 200910670; Zayavl. 22.10.2009; opubl. 12.04.2010, Byul. # 7, 2010.

УДК 622.691.4

Скрыльник К.Ю., Мухаммед Галеб Насер Аль-Шаммар, Крымов А.П.

#### **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ СБОРА ГАЗА**

В статье представлен анализ экспериментальных данных изменения эффективности работы участков действующих газопроводов системы сбора и добычи газа, промышленных газопроводов и системы магистральных газопроводов, транспортирующих газ месторождений Украины. Динамику эффективности работы участков газопроводов проанализировано, исходя из данных отчетов научно-исследовательских работ о внедрении средств и проведении мероприятий по очистке участков газопроводов и предупреждению образования гидратов.

Skrylnyk K.Y., Mohamed Ghalib Naser Al-Shammar, Krymov A.P.

#### **ANALYSIS OF TECHNOLOGIES TO INCREASE EFFICIENCY GAS GATHERING SYSTEM**

Analysis of experimental data on changes in the gas pipelines efficiency is presented. Parts of acting gas gathering pipelines, field gas pipelines and main gas pipelines which transport gas of the Ukrainian deposits are considered. The dynamics of the pipeline sections efficiency analyzed based on the data of scientific research reports about the means and efforts introduction to clean up the pipeline sections and the prevention of the hydrates formation.

**МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ СИСТЕМ ЕНЕРГО-ТА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УСТАНОВОК**

**Вступ.** Політика підвищення енергоефективності на всіх етапах виробництва і споживання енергетичних ресурсів є важливим чинником подальшого розвитку економіки та створення умов для енергетичної безпеки держави. Промислові комплекси, в яких реалізуються високотемпературні теплотехнологічні процеси, формують технічну базу таких енергоємних галузей виробництва, як чорна та кольорова металургія, хімічна та будівельна промисловість. Відомо, що на більшості підприємств України випуск продукції в цих галузях здійснюється з підвищеними питомими витратами енергоресурсів [1]. Підвищення ефективності використання палива у високотемпературних технологічних установках (ВТУ) може бути досягнуто різними способами, у тому числі й шляхом зменшення теплових відходів, регенеративного використання теплових ВЕР, зовнішнього використання відходів в технологічних та енергетичних цілях. На наш погляд, особливо актуальним є другий напрямок, який пов'язаний з регенеративним використанням теплового потенціалу продуктів згоряння, температурний рівень яких за робочою зоною може перевищувати 500 °С, а в ряді агрегатів становить більше 1000 °С. В [2] у загальному виді проаналізовані теплові схеми ВТУ з паливним джерелом енергії, у тому числі з регенеративним тепловикористанням.

**Виділення невирішеної частини загальної проблеми.** Для шахтних печей доменного виробництва характерним є невисокий рівень температур димових газів, що відходять, тому це не дозволяє нагріти повітря (гаряче дуття), що подається в піч, до високої температури. Крім того, робота печей супроводжується утворенням великої кількості низькокалорійного доменного газу, що може бути використаний в якості палива. Тому тут в системі повітропостачання застосовуються автономні регенеративні повітрянагрівачі. У сучасних доменних цехах одну піч обслуговують три-чотири повітрянагрівача. Сьогодні на сучасних металургійних підприємствах температура дуття становить 1200–1350 °С. Рівень нагріву дуття визначає питому витрату коксу й продуктивність доменних печей, тому підвищення температури дуття є ефективним засобом зменшення енерговитрат в доменному виробництві. Докладно конструкція та принцип дії теплообмінних апаратів даного типу наведено в роботі [3].

Для розрахунку регенеративних теплообмінників доменних печей застосовувалися наближені методи, які зводилися до визначення загального об'єму насадки та розмірів камери теплообмінника без урахування технологічних зв'язків і реальних умов роботи печі [4, 5]. Найчастіше це приводило до невідповідності об'єму насадки регенератора й параметрів димових газів. Наслідком цього були недостатньо глибока утилізація теплоти димових газів або перевитрата вогнетривких матеріалів і збільшення вартості теплообмінника у випадку занадто великого об'єму насадки. Тому актуальним питанням сьогодні є розробка математичної моделі, що дозволяє моделювати робочі процеси в теплообміннику для визначення його оптимальних режимних та конструктивних параметрів.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Одним із засобів вирішення даного завдання є застосування сучасних методів математичного моделювання. Підвищення ефективності математичного моделювання пов'язано з розробкою універсальних математичних моделей, що враховують велику кількість факторів, які впливають на протікання робочих процесів в об'єкті. У цьому випадку більше точним є розрахунок регенеративних ТО із застосуванням чисельних методів, отриманих шляхом спільного рішення диференціальних рівнянь переносу в потоках теплоносіїв і теплопровідності насадки із граничними умовами третього роду. Система диференціальних рівнянь, що описує процес теплообміну в насадці регенеративного теплообмінника містить у собі: рівняння теплопровідності насадки в газовий і повітряний періоди; умови теплообміну на зовнішній поверхні насадки; рівняння теплообміну на границі зіткнення потоку теплоносія й насадки; рівняння руху середовища в газовий і повітряний періоди; рівняння періодичності, що характеризують роботу регенератора. Також повинні бути задані умови, що характеризують параметри теплоносіїв на вході в насадку [6].

Рішення такої системи рівнянь є досить складним математичним завданням, тому на практиці при розрахунках використовується ряд спрощень. Розбивка насадки з малим кроком по висоті  $\Delta h$  дозволяє одержати досить точні значення зміни температури по висоті, без урахування в моделі теплового потоку у напрямку осі  $z$ . Нерівномірність температури по товщині насадки враховується введенням відповідного коефіцієнту. В цьому випадку досить зручними з погляду практичного використання є кінцево-різницеві методи, за допомогою яких при великій кількості кроків можна одержати досить високу точність розра-

хунків. До таких методів відноситься й метод елементарних теплових балансів. Система диференціальних рівнянь, що характеризує процеси теплообміну в насадці регенератора, у цьому випадку замінюється системою алгебраїчних рівнянь.

Рішення засновано на використанні фундаментального закону збереження енергії, відповідно до якого кількість теплоти, що надійшло в елементарний обсяг, дорівнює зміні внутрішньої енергії речовини. Зв'язок між розподілом теплоти в просторі й величинами теплового потоку можна визначити, використовуючи закони Н'ютона-Ріхмана і Фур'є.

Кількість тепла, що надходить у розрахунковий елемент складає

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{тепл}} + Q_{\text{бч}} + Q_{2\text{тепл}} \quad (1)$$

Температуру кожного розглянутого елемента в розрахунковий момент часу  $(j+1)$  можна знайти, вирішуючи рівняння теплового балансу, як

$$\begin{aligned} \vartheta_{i,j+1} = & \frac{\vartheta_{i,j}}{V_i^H c_i^H \rho_i^H} \left[ V_i^H c_i^H \rho_i^H - \alpha_{\Sigma i,j} H_{\text{бч}} \Delta \tau \right] + \frac{1}{V_i^H c_i^H \rho_i^H} \times \\ & \times \left[ \alpha_{\Sigma i,j} H_{\text{бч}} \Delta \tau \vartheta_{i,j}^r - \frac{\lambda_i H_{\text{тепл}} \Delta \tau \vartheta_{i-1,j}}{\Delta h} + \frac{\lambda_i H_{\text{тепл}} \Delta \tau \vartheta_{i+1,j}}{\Delta h} \right], \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\alpha_{\Sigma i,j}$  – сумарний коефіцієнт теплообміну в газовий період, визначається як сума коефіцієнтів променистого  $\alpha_{\text{пр}}$  та конвективного  $\alpha_{\text{к}}$  теплообміну, а в повітряний період  $\alpha_{\Sigma i,j}$  приймається рівним  $\alpha_{\text{к}}$ .

У рівнянні (2) визначення теплофізичних властивостей вогнетривів і теплоносіїв виробляється з урахуванням їх залежності від температури.

Аналогічним образом знаходимо температуру елемента в повітряний період роботи теплообмінника. Умови теплообміну для першого й останнього елементів будуть відрізнятися від інших, що враховано у відповідних рівняннях. Для визначення температури теплоносія в розрахунковому елементі насадки використовуються балансові співвідношення при нагріванні й охолодженні насадки, звідки знаходять значення температури теплоносія для наступної розрахункової ділянки. Так, розрахункова залежність для димових газів у період нагрівання насадки має вигляд

$$\vartheta_{i+1,j}^r = \vartheta_{i,j}^r - \frac{V_i^H C_i^H \rho_i^H (\vartheta_{i,j} - \vartheta_{i,j-1})}{M^r C^r \Delta \tau} \quad (3)$$

Спочатку задаються розподілом температури по висоті насадки, що обирається по можливості найбільш близьким до сталого стану. Насадка розбивається на  $n$  елементів з кроком  $\Delta h$ . Для забезпечення точності розрахункових даних необхідно правильно вибрати крок за часом  $\Delta \tau$ . Нерівномірність температурного поля по товщині насадки врахована введенням коефіцієнта масивності. Отриманий розподіл наприкінці кожного періоду приймається в якості початкового для наступного періоду. Розрахунок виконується доти, поки розподіли температур у двох сусідніх циклах практично не будуть відрізнятися друг від друга із заданою точністю. Умова перевірки виходу регенератора на квазістаціонарний режим визначається по вираженню  $\Delta Q_{\text{п}} < \Delta Q_{\text{тек}}$ , де величина похибки визначалася за значеннями температури в насадці у двох циклах як

$$\Delta Q_{\text{тек}} = V_i C_i^H \rho_i^H (\vartheta_{i,j+1} - \vartheta_{i,j}) \quad (4)$$

При невиконанні умови (4) розрахунок триває до збігу заданої й отриманої похибки. Більш докладно математична модель теплообміну в регенеративних теплообмінниках з нерухою насадкою викладена в роботі [7].

В моделі, що наведена вище, прийнято припущення, що температура по всій товщині елемента є постійною. Отримання експериментальних даних щодо розподілу температур в поперечному перерізі насадки пов'язано з труднощами вимірювання температурного поля в перерізі тіла, що має невелику товщину (напівтовщина елемента насадки складає 20 мм). Тому для отримання даних щодо температурних полів насадки були виконано розрахунки за допомогою програми ANSYS.

Геометричні особливості розглянутого об'єкта дозволяють звести завдання до плоскої (двовимірної) постановки. В цьому випадку рішення нелінійного нестационарного завдання теплопровідності може бути зведено до пошуку мінімуму наступного функціонала:

$$I = \iint_S \left\{ \frac{\lambda}{2} \left[ \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \right] + \rho c \frac{\partial T}{\partial t} T \right\} dS + \frac{1}{2} \int_{L_\alpha} \alpha [T - 2T_\infty] T dL, \quad (5)$$

де  $T_\infty$  – температура зовнішнього середовища на границі  $L_\alpha$  при конвективному теплообміні.

В якості базового кінцевого елемента використано ізопараметричний чотирьохвузловий плоский елемент із білінійною апроксимацією температури усередині елемента (рис. 1). У місцевій системі координат кінцевий елемент має вигляд одиничного квадрата, центр якого сполучений з початком координат. Закон розподілу температури  $T$  усередині кінцевого елемента в прийнятих обмеженнях має вигляд  $T(\eta, \zeta) = c_1 + c_2\eta + c_3\zeta + c_4\eta\zeta$ . У цьому випадку температуру в межах кінцевого елемента можна представити у вигляді

$$T(r, z) = \sum_{i=1}^4 T_i \phi_i(\eta, \zeta), \quad (6)$$

де  $T_i$  – значення вузлових температур,  $\phi_i(\eta, \zeta)$  – координатні функції кінцевого елемента.

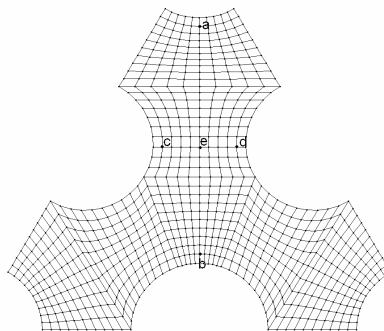


Рисунок 1 – Розрахунковий елемент насадки доменного повітрянагрівача

Вузлові температури визначають безперервні переміщення й температуру по всій області кінцевого елемента. Уздовж границь кінцевих елементів температура змінюється за лінійним законом і повністю визначається значеннями вузлових компонентів, що належать цим граням. При цьому похідна від температури по нормалі до границі елемента є величиною постійною, що забезпечує виконання умов ідеального теплового контакту між елементами.

Застосовуючи традиційну для методу кінцевих елементів процедуру варіювання по незалежних шуканих параметрах, одержимо систему алгебраїчних рівнянь відносно вузлових температур у стандартному виді  $[A]\{T\} = \{T_\alpha\}$ . Ця система вирішується на кожному часовому кроці. Рішення в часі здійснюється за допомогою наступної неявної схеми:

$$\frac{\partial T}{\partial t}(t + \Delta t) = [T(t + \Delta t) - T(t)] \frac{2}{\Delta t} - \frac{\partial T}{\partial t}(t). \quad (7)$$

Для урахування залежності властивостей вогнетриву та теплоносіїв від температури застосовується стандартна схема, коли значення на кожному наступному кроці залежить від температури поточного. Якщо підібрати досить дрібний крок за часом, то урахування залежності властивостей матеріалу від температури не вимагає додаткових ітерацій. Результати розрахунків характеру зміни температур елемента в його вузлових точках наведено на рис. 2.

Найбільша різниця в значеннях температури елементів в точках  $e$  та  $a, b, c, d$  спостерігається в початковий період часу. Максимальне розходження зафіксовано в діапазоні 100–200 с, далі ця різниця зменшується та практично зникає через 600 с після початку нагрівання елемента насадки. Таким чином, використання поправкового коефіцієнту в одномірній моделі, який враховує нерівномірність розподілу температур по товщині елемента в початковий період його нагрівання або охолодження, буде достатнім та не призведе до значного зменшення точності розрахунків.

На базі представленої моделі було розроблено програму для розрахунків теплових процесів в доменних повітрянагрівачах [8]. В табл. 1 наведено результати розрахунків роботи доменного повітрянагрівача для наступних умов: температура повітря на вході в регенератор – 65 °С, температура димових газів під куполом – 1325 °С; тривалість періоду нагріву – 1,83 год., охолодження – 1,0 год.; витрата суміші палива



(доменний газ – 90 %, коксовий – 10 %) – 33802,82 м<sup>3</sup>/год., повітря горіння – 40685,07 м<sup>3</sup>/год.

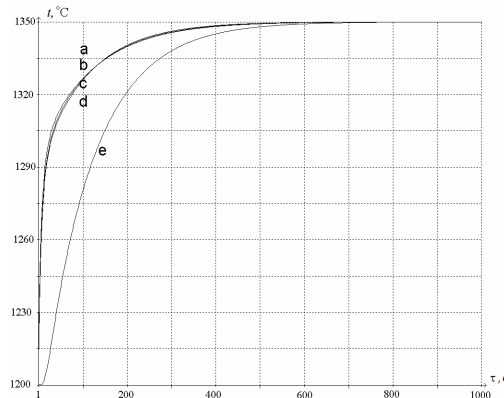


Рисунок 2 – Залежність зміни температури в вузлових точках елемента насадки в часі

Таблиця 1 – Розподіл по висоті температури димових газів та насадки наприкінці періоду нагріву

Висота, м	Температура, °C	
	димові гази	насадка
0	1325	1325
3,2	1309	1316
6,4	1245	1261
9,6	1161	1180
12,8	1060	1089
16	941	972
19,2	819	854
22,4	708	737
25,6	593	631
28,8	459	505
32	369	401

Середня температура газів склала 251 °C, а середня температура горячого дуття – 1268 °C. Також можливо отримати данні щодо зміни параметрів горячого та холодного теплоносіїв у часі в будь-якому елементі насадки.

**Висновки.** Таким чином, було розроблено математичну модель теплообміну в насадці регенератора на основі методу елементарних теплових балансів з урахуванням зміни інтенсивності теплообміну, теплофізичних характеристик димових газів, повітря й насадки від температури. Реалізація цієї моделі в створеному обчислювальному комплексі з використанням модульного компонування дозволяє виконувати теплотехнічні розрахунки регенеративних теплообмінників з нерухомою насадкою, які є складовою частиною високотемпературних установок різних галузей промисловості. Отримані данні можуть використовуватися для вибору конструктивних і режимних параметрів регенераторів як при реконструкції діючих, так і при проектуванні нових високотемпературних теплотехнологічних агрегатів комплексів, а також при проведенні оптимізаційних розрахунків теплотехнічного устаткування.

**Позначки:**  $H_{\text{тепл}}$ ,  $H_{\text{бч}}$  – торцева та бічна поверхні теплообміну;  $Q_{1\text{тепл}}$ ,  $Q_{2\text{тепл}}$  – кількість тепла, передана теплопровідністю від попереднього та до наступного елементів через поверхню  $H_{\text{тепл}}$ ,  $Q_{\text{бок}}$  – кількість теплоти, що проходить через поверхню  $H_{\text{бч}}$ ;  $\vartheta$ ,  $T$  – температури;  $V$  – об'єм елемента;  $M$  – масова витрата теплоносія;  $\Delta\tau$  – тривалість періоду;  $\alpha$ ,  $\lambda$  – коефіцієнт теплообміну та теплопровідності;  $c$ ,  $\rho$  – масова теплоємність та густина;  $i$ ,  $j$  – кроки по висоті насадки та в часі;  $n$  – насадка;  $г$  – гази;  $1, 2$  – індекси.

#### Література

1. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали в 2-х т. Т.1: Загальні засади енергозбереження / За ред. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – К.: Академперіодика, 2006. – 510 с.

2. Троянкин Ю.В. Проектирование и эксплуатация высокотемпературных установок / Ю.В. Троянкин.– М.: Изд-во МЭИ, 2002.– 324 с.
3. Гресс Л.П. Теплообменники доменных печей: монография.– Днепропетровск: Пороги, 2012.– 491 с.
4. Доменные воздухонагреватели (конструкция, теория, режимы работы) / Ф.Р. Шкляр, В.М. Малкин, С.П. Каштанова и др. / М.: Metallurgija, 1982.– 176 с.
5. Гресс Л.П. Энергосбережение при нагреве доменного дутья / Л.П. Гресс.– Днепропетровск: Пороги, 2004.– 209 с.
6. Кошельник А.В. Математическая модель многокамерных регенераторов плавильных агрегатов / А.В. Кошельник // Восточно-европейский журнал передовых технологий.– 2007.– №1/2 (25).– С. 51–54.
7. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве: монография / Л.Л. Товажнянский, В.М. Кошельник, В.В. Соловей, А.В. Кошельник.– Х.: НТУ «ХПИ», 2008.– 628 с.

### Bibliography (transliterated)

1. Stratehiya enerhozberezhennya v Ukrayini: Analitychno-dovidkovi materialy v 2-kh t. T.1: Zahal'ni zasady enerhozberezhennya. Za red. V.A. Zhovtyans'koho, M.M. Kulyka, B.S. Stohniya.– K.: Akadempriodyka, 2006.– 510 p.
2. Trojankin Ju. V. Proektirovanie i jekspluatacija vysokotemperaturnyh ustanovok. Ju.V. Trojankin. – M.: Izd-vo MJEI, 2002. – 324 p.
3. Gress L.P. Teploobmenniki domennyh pechej: monografija. – Dnepropetrovsk: Porogi, 2012. – 491 p.
4. Domennye vozduhonagrevateli (konstrukcija, teorija, rezhimy raboty). F.R. Shkljar, V.M. Malkin, S.P. Kashtanova i dr. M.: Metallurgija, 1982. – 176 p.
5. Gress L.P. Jenergosberezenie pri nagreve domennogo dut'ja. L.P. Gress.– Dnepropetrovsk: Porogi, 2004. – 209 p.
6. Koshel'nik A.V. Matematicheskaja model' mnogokamernyh regeneratov plavil'nyh agregatov / A.V. Koshel'nik. Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2007. – №1/2 (25). – P. 51–54.
7. Integrirovannye jenergosberegajushhie teplotehnologii v stekol'nom proizvodstve: monografija / L.L. Tovazhnyanskyj, V.M. Koshel'nik, V.V. Solovej, A.V. Koshel'nik. – Harkiv: NTU «HPI», 2008. – 628 p.

УДК 669.183.213

Кошельник А.В., Хавин Е.В., Павлова В.Г.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ СИСТЕМ ЭНЕРГО- И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Представлена математическая модель тепловых процессов в регенеративных теплообменных аппаратах с неподвижной огнеупорной насадкой, используемых для подогрева воздуха горения в высокотемпературных теплотехнологических агрегатах. На её основе создана программа, моделирующая работу воздухонагревателей доменных печей с учетом технологических и эксплуатационных ограничений. Это позволяет получить значения температур теплоносителей и насадки во времени и по высоте теплообменника. Полученные данные могут быть использованы для выбора конструктивных и режимных параметров регенераторов как при реконструкции действующих, так и при проектировании новых высокотемпературных теплотехнологических агрегатов комплексов.

Koshelnik O.V., Khavin E.V., Pavlova V.G.

### SIMULATION OF HEAT EXCHANGE UNITS OPERATION OF POWER- AND HEAT SUPPLY SYSTEMS IN HIGH-TEMPERATURE ENGINEERING INSTALLATIONS

The mathematical model of the heating processes in the regenerative heat exchangers with stationary refractory checker-work used for the combustion air pre-heat in the high-temperature heat engineering installations is presented. On this base the procedure simulating the hot-air stoves operation with allowance for technological and operational limitations is created. This makes possible to determine the heat transfer agents and checker-work temperatures in time intervals and in heat exchanger height. The data obtained can be applied for selection of the regenerators' structural and processing properties during the reconstruction of the operating units as long as in designing of the modern high-temperature heat engineering equipment.

УДК 681.547

Бобух А.А., Ковалев Д.А., Дзевочко А.М., Подустов М.А., Костенко Ю.В.

## ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

### Введение

Технологические процессы большинства сложных химических производств относятся к классу объектов, в которых процессы переработки сырья, находясь в непрерывном контакте с аппаратами различного технологического назначения, изменяют свои химические составы. Эта переработка достигается в результате реакций химических превращений, межфазного массообмена, смешения и разделения, нагрева и охлаждения и характеризуется как непрерывный, нелинейный многомерный объект с экстремальными нестационарными характеристиками, являющийся предметом рассмотрения теории адаптивной оптимизации [1–4]. Интерес представляет разработка алгоритма адаптивного управления такими объектами в условиях помех.

### Цель работы

Разработка помехоустойчивого алгоритма адаптивного управления, который позволяет с высокой точностью и быстродействием осуществлять управление нестационарными объектами в условиях помех.

### Основная часть

Для управления нестационарным объектом целесообразно применять адаптивную модель объекта, моделирующую его динамические свойства (АМОМДС). При этом на входы объекта управления (ОУ) и АМОМДС подаются  $n$  – мерные управляющие воздействия  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ . ОУ преобразует эти воздействия в выходной сигнал  $y(t)$ , который подается также на входы АМОМДС, а она реализует оптимальный адаптивный алгоритм идентификации [5]:

$$k_i(t) = k_i(o) + \frac{1}{T} \int_0^t \frac{y(t) - \sum_{i=1}^n k_i(t)x_i(t)}{\sum_{i=1}^n x_i^2(t)} x_i(t) dt, \quad (1)$$

где  $i = \overline{1, n}$ ;  $k_i(o)$  – начальное значение коэффициентов модели, и вычисляет значения коэффициентов  $k_i(t)$ , которые служат исходной информацией для вычисления управляющих воздействий.

Алгоритм идентификации (1) наиболее просто можно реализовать при помощи современных многоканальных, высокопроизводительных, быстродействующих, высоконадежных и многофункциональных микропроцессорных контроллеров (МПК) со специальными программами (СП). МПК в реальном масштабе времени по СП выполняет стандартные функции суммирования, деления, интегрирования, умножения, вычитания, возведения в квадрат и дифференцирования, а также вычисления значения сигнала рассогласования  $\varepsilon(t)$  между требуемым (заданным) выходом ОУ  $y^*(t)$  и его фактическим выходом  $y(t)$ , то есть,  $\varepsilon(t) = y^*(t) - y(t)$ .

Значение сигнала рассогласования используется для определения МПК по СП промежуточных значений сигналов, в частности:  $\frac{y^*(t) - y(t)}{\sum_{i=1}^n k_i^2(t)} k_i(t)$ . Эти сигналы необходимы для вычисления МПК по СП скорректированных значений управляющих воздействий:

$$x_i(t) = x_i(o) + \frac{1}{T} \int_0^t \frac{y^*(t) - y(t)}{\sum_{i=1}^n k_i^2(t)} k_i(t) dt, \quad (2)$$

где  $x_i(o)$  соответствует начальным значениям управляющих воздействий.

Алгоритм управления (2) является адаптивным градиентным оптимальным по быстродействию алго-

ритмом, мінімізуючим рассогласование между требуемым (заданным) значением выхода  $y^*(t)$  и фактическим его значением  $y(t)$  нестационарного многомерного ОУ.

Действительно, если в качестве критерия оптимизации выбран квадратичный функционал от рассогласования между требуемым (заданным) значением выхода  $y^*(t)$  и фактическим его значением  $y(t)$ , то градиентный алгоритм минимизации этого функционала имеет вид:

$$\bar{x}_i(t) = \gamma[y^*(t) - \sum_{i=1}^n k_i(t)x_i(t)]k_i(t), \quad (3)$$

где  $\gamma > 0$  - некоторый параметр. Рассмотрим величину:

$$\phi(t) = \sum_{i=1}^n [\bar{x}_i(t) - \bar{x}_i^*(t)]^2, \quad (4)$$

представляющую собой сумму квадратов отклонений управляющих воздействий  $\bar{x}_i(t)$  от их оптимальных воздействий  $\bar{x}_i^*(t)$ .

Использование алгоритма (3) приводит к тому, что величина  $\phi(t)$  (4) преобразуется к виду:

$$\phi(t) = 2 \sum_{i=1}^n [x_i(t) - x_i^*(t)][\bar{x}_i(t) - \bar{x}_i^*(t)]. \quad (5)$$

Подставляя в (5) значение  $\bar{x}_i(t)$  из (3) и учитывая, что требуемое (заданное) значение выхода  $y^*(t)$  связано с требуемым значением векторов управляющих воздействий  $x_i^*(t)$  соотношением:

$$y^*(t) = \sum_{i=1}^n k_i(t) \cdot x_i^*(t), \text{ получают:}$$

$$\begin{aligned} \phi(t) = & -2\gamma \sum_{i=1}^n [x_i(t) - x_i^*(t)]k_i(t) - 2\gamma \sum_{i=1}^n [x_i(t) - x_i^*(t)]\bar{x}_i^*(t) \geq \\ & -2\gamma \sum_{i=1}^n [x_i(t) - x_i^*(t)]^2 \sum_{i=1}^n k_i^2(t) - 2\gamma \sum_{i=1}^n [x_i(t) - x_i^*(t)]\bar{x}_i^*(t). \end{aligned} \quad (6)$$

Из (6) можно видеть, что скорость уменьшения ошибки  $(x_i(t) - x_i^*(t))$  зависит от значений параметров объекта  $k_i(t)$ .

Выбор  $\gamma = 1 / \left( \sum_{i=1}^n k_i^2(t) \right)$  приводит к существенно меньшей зависимости или (в случае, например, стабилизации, когда  $x_i^*(t) = 0$ ) независимости скорости изменения  $\phi(t)$  от  $\sum_{i=1}^n k_i^2(t)$ . Если же требуемая скорость изменения управляющих воздействий  $\bar{x}_i(t)$  незначительна, то такой выбор параметра  $\gamma$  обеспечивает экспоненциальный закон изменения  $\phi(t) \geq \phi_0 \cdot e^{-2t}$ , где  $\phi_0 = \sum_{i=1}^n [x_i(0) - x_i^*(0)]^2$  - начальное рассогласование, следовательно, и максимальное быстродействие алгоритма при монотонном характере переходного процесса.

**Вывод**

В результате исследования разработан помехоустойчивый алгоритм адаптивного управления для технологических процессов сложных химических производств. Использование адаптивной модели и помехоустойчивого алгоритма адаптивного управления позволит с высокой точностью и быстродействием осуществлять управление нестационарными объектами управления в условиях помех.

Литература

1. Бобух А.А. Компьютерно-интегрированная система автоматизации технологических объектов управления централизованным теплоснабжением: монография [Текст] / А.А. Бобух, Д.А. Ковалев; под ред. А.А. Бобуха. – Х.: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2013. – 226 с.
2. Тюкин И.Ю. Адаптация в нелинейных динамических системах: монография [Текст] / И.Ю. Тюкин, В.А. Терехов. – СПб.: ЛКИ, 2008. – 384 с.
3. Мирошник И.В. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами [Текст] / И.В. Мирошник, В.О. Никифоров, А.Л. Фрадков. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.
4. Annaswamy A.M., Skantze F.P., Loh A.-P. Adaptive control of continuous time systems with convex/concave parametrization [Text] // Automatica. – 1998. – Vol. 34, № 1. – P. 33–49.
5. А. с. SU 1045220 А, G 05 В13/02. Адаптивный регулятор / И.Д. Зайцев, В.И. Салыга, А.А. Бобух и др. (СССР). – № 3273809/24; заяв. 08.04.81; опубл.30.09.83, Бюл. № 36.

Bibliography (transliterated)

1. Bobuh A.A. Kompyuterno-integrirrovannaya sistema avtomatizatsii tehnologicheskikh ob'ektov upravleniya tsentralizovannym teplosnabzheniem: monografiya [Tekst]. A.A. Bobuh, D.A. Kovalev; pod red. A.A. Bobuha. – H.: HNUGH im. A.N. Beketova, 2013. – 226 p.
2. Tyukin I.Yu. Adaptatsiya v nelineynykh dinamicheskikh sistemah: monografiya [Tekst]. I.Yu. Tyukin, V.A. Terehov. – SPb.: LKI, 2008. – 384 p.
3. Miroshnik I.V. Nelineynoe i adaptivnoe upravlenie slozhnyimi dinamicheskimi sistemami [Tekst]. I.V. Miroshnik, V.O. Nikiforov, A.L. Fradkov. – SPb.: Nauka, 2000. – 549 p.
4. Annaswamy A.M., Skantze F.P., Loh A.-P. Adaptive control of continuous time systems with convex/concave parametrization [Text]. Automatica. – 1998. – Vol. 34, # 1. – P. 33–49.
5. A. s. SU 1045220 A, G 05 B13/02. Adaptivnyiy regulyator. I.D. Zaytsev, V.I. Salyiga, A.A. Bobuh i dr. (SSSR). – # 3273809/24; zayav. 08.04.81; opubl.30.09.83, Byul. # 36.

УДК 681.547

Бобух А.О., Ковальов Д.О., Дзевочко О.М. Подустов М.А., Костенко Ю.В.

**ПЕРЕШКОДОСТІЙКИЙ АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ**

В статті розроблено перешкодостійкий алгоритм адаптивного керування для технологічних процесів складних хімічних виробництв. Використання адаптивної моделі і перешкодостійкого алгоритму адаптивного керування дозволить з високою точністю і швидкодією здійснювати керування нестационарними об'єктами керування в умовах перешкод.

Bobukh A.A., Kovalyov D.A., Dzevochko A.M., Podustov M.A., Kostenko J.V.

**ANTIJAMMING ALGORITHM OF ADAPTIVE CONTROL**

In the article the antijamming algorithm of adaptive control is worked out for the technological processes of difficult chemical productions. The use of adaptive model and antijamming algorithm of adaptive control will allow with high exactness and fast-acting to carry out a control the non-stationary objects of control in the conditions of hindrances.

Братах М.І., Заїд Халіл Ібрахім, Гребенюк С.Д.

**ВПЛИВ ГІДРАВЛІЧНОГО СТАНУ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВИХ ГАЗОПРОВІДІВ  
НА РЕЖИМИ РОБОТИ ОБ'ЄКТІВ ГАЗОВИДОБУВНОГО КОМПЛЕКСУ**

Основним об'єктом досліджень відділу транспортування газу є трубопроводи системи збору та транспортування, які за призначенням класифікують як:

- шлейфи;
- промислові та міжпромислові газопроводи;
- магістральні газопроводи;
- газопроводи для сумісного збору та транспортування нафти, газу, конденсату і води (або широкої вуглеводневої фракції).

Предметами досліджень є гідравлічний, технічний стан трубопроводів, термодинамічні режими роботи, потокоутворення, які оцінюють виконуючи 3 основних розрахунки:

- міцнісний (визначення товщини стінки, стійкості і опору поздовжнім та поперечним переміщенням);
- тепловий (оцінка температурного режиму роботи);
- гідравлічний.

В проектних роботах гідравлічний розрахунок зводиться до визначення необхідного діаметру трубопроводу залежно від робочого тиску, прогнозного завантаження та якісного складу продукту, що перекачуватиметься.

Під час експлуатації газопроводів гідравлічний розрахунок полягає у визначенні пропускної здатності трубопроводу – максимально можливого завантаження трубопроводу при певному робочому тиску та оцінці гідравлічної ефективності газопроводу (для видобувного підприємства – оцінці загальних втрат тиску під час збору або транспортування продукції (рис. 1) та їх надмірної частини, що викликана забрудненнями, визначення місць накопичення цих забруднень та їх орієнтовного об'єму).

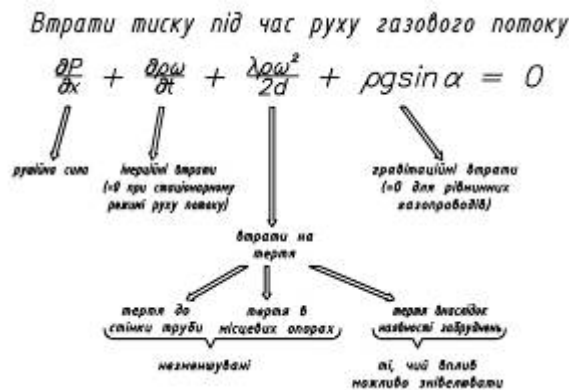


Рисунок 1 – Втрати тиску під час транспортування газу

Оскільки гідравлічний стан трубопроводу не є величиною сталою, то його зміни слід постійно контролювати, тобто здійснювати моніторинг гідравлічного стану, який складається з двох етапів:

- інструментальне вимірювання основних параметрів газового потоку в контрольних точках трубопроводу (тиску, температури, витрати) в польових умовах;
- виконання гідравлічних розрахунків за допомогою власного програмного забезпечення.

На даний момент єдиним нормативним документом, що регламентує порядок виконання гідравлічного розрахунку, є ВСН 51.1-85 [1], положення якого та власні розробки фахівців відділу транспортування газу покладено в створення ПРК «Контроль залпових викидів рідини з порожнини газопроводу», що складається із трьох взаємопов'язаних програм: гідравлічна ефективність, об'єм забруднень та гідратування, вікна яких зображено на рисунку 2.

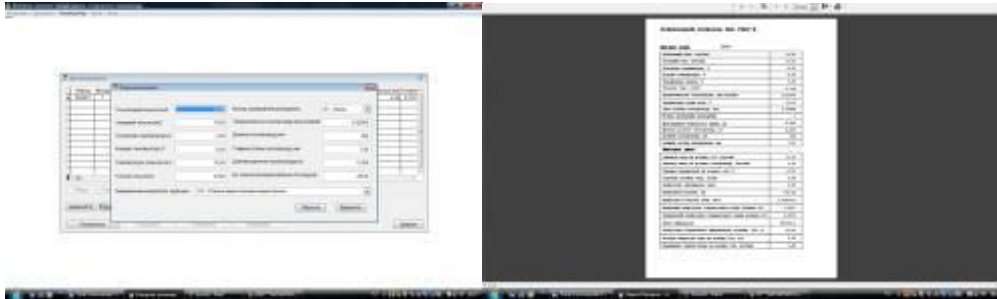


Рисунок 2 – Програмно-розрахунковий комплекс «Контроль залпових викидів...»

Нехтування питанням моніторингу гідравлічного стану трубопроводів може призвести як до значних похибок під час прогнозування варіантів подальшої розробки родовищ (в області оцінки робочого тиску на гирлі свердловин або тиску на вході в ДКС), так і до потенційно небезпечних ситуацій.

Найнебезпечнішими проявами нехтування моніторингом гідравлічного стану трубопроводів, що в підсумку призводять до аварійних ситуацій, є:

- довготривалі за часом процеси формування рідинних відкладень із подальшим їх перерозподілом у вигляді залпів до технологічного обладнання;
- короткотривалі процеси формування рідинних відкладень із стрімким винесенням рідинної пробки і можливістю руйнування технологічного обладнання – гідравлічні удари;
- процеси, що найбільш часто спостерігаються в умовах експлуатації трубопровідної системи – гідратоутворення.

Метою цієї статті є презентація розробок відділу транспортування газу, які направлені на зниження негативного впливу вищеперахованих проявів.

Довготривалий процес формування і подальшого перерозподілу рідини в часі, який характеризується мінімальним надходженням рідини в порожнину трубопроводу, поступового її накопичення до певного критичного рівня і подальшого стрімкого перерозподілу, називають «залповим» викидом рідини до технологічного обладнання об'єктів наземної частини родовищ і газотранспортної мережі.

За останні роки процеси залпових викидів рідини зафіксовані на МГ ДККР 2005 р., Пасічна – Тисмениця 2006, МГ Шебелинка – Харків 2009, РГ Юліївка – Ст. Мерчик 2011, МГ Іваники – Пукеничі 2013 р. Певним каталізатором процесу є те, що періоди проходження залпових викидів рідини припадають на листопад-грудень, а саме періоди зростання споживання газу, які характеризуються зміною робочого тиску (переважно зростання його величини) та збільшенням продуктивності газопроводів.

При досягненні критичної величини забруднень в коліні трубопроводу подібно стрибку падає кінцевий тиск або підвищується початковий і велика маса рідини переміщується в наступну за ходом природну пастку, виштовхуючи певний об'єм рідини із неї і так далі до кінцевого пункту призначення, в нашому випадку ГРС, де рідинний потік потрапляє у «вузькі» технологічні трубопроводи, переповнює збірник забруднень сепаратора, призводячи до аварійної відмови обладнання та припинення подачі газу.

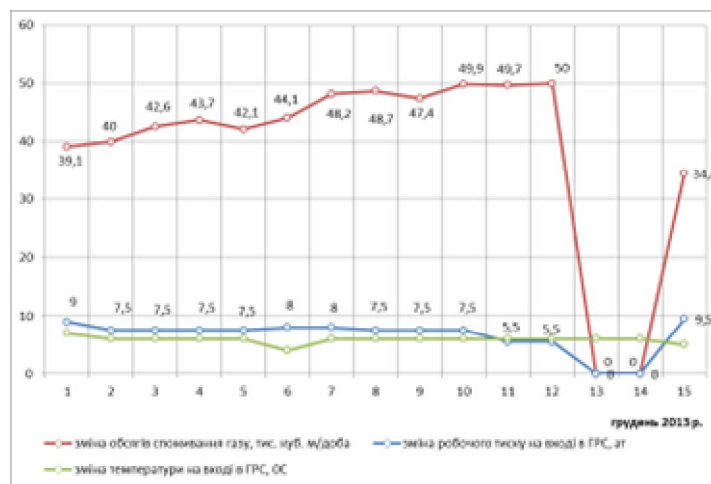


Рисунок 3 – Зміна робочого тиску та обсягу подачі газу на ГРС Стинава УМГ «Львівтрансгаз»

Якщо на вхід газопроводу надійде великий об'єм рідини за короткий час і з високим робочим тиском перерозподіл мас рідини може відбутися в короткий термін і великої потужності із зростанням швидкості газу вище швидкості звуку на коротких ділянках (особливо невеликого діаметру та із наявністю великої кількості місцевих опорів). Такий швидкий перерозподіл мас рідини, що характеризується надходженням великої маси рідини на вхід трубопроводу носить назву гідравлічного удару і може призвести до руйнування технологічного обладнання.

Найбільш часто експлуатаційний персонал зіштовхується із проблемою утворення гідратів в порожнині трубопроводу, які швидко зростають в умовах високого робочого тиску і низьких температур і найчастіше закупорюють «вузькі» ділянки трубопроводів (коліна, засуви, крани, трійники, штуцера тощо). Попри те, що фактично це є найшвидший прояв, який може раптово припинити подачу або видобуток газу, попереджують його шляхом вчасного введення інгібітору гідратуутворення.

Попередження вищеперахованих потенційно-небезпечних проявів виконується завдяки розробці і подальшому впровадженню заходів щодо звільнення порожнини газопроводу від накопичених забруднень, яке виконується за наступним алгоритмом:

- оцінка надлишкових втрат тиску в порожнині газопроводу і їх впливу на режими роботи УКПГ, свердловин, ДКС тощо;

- оцінка орієнтовного об'єму забруднень, критичного значення та імовірності проходження залпового викиду рідини;

- оцінка імовірності утворення гідратів;

- визначення місць локалізації рідини (природних пасток рідини);

- вибір одного із способів звільнення порожнини трубопроводу від рідини: врізання дренажних пристроїв, пропускання очисного поршня або переведення ділянки в режим самоочищення.

Як алгоритм, так і всі вищепераховані способи є власними розробками транспортного напрямку і захищені деклараційними патентами України.

Оцінка гідравлічного стану трубопроводів та впровадження заходів щодо усунення впливу надлишкових втрат тиску на розподіл робочого тиску по основних об'єктах газовидобувної системи постійно виконується відділом транспортування газу і станом на 2014 р. охоплює об'єкти як газозбірної системи газопромислових управлінь, так і магістральні газопроводи.

Зокрема, оскільки в першу чергу забруднення формують додатковий гідравлічний опір та надмірні втрати тиску в шлейфах та промислових газопроводах, починаючи з 2007 р. проводиться постійний моніторинг роботи Шебелинського газозбірного колектора, а з 2009 року проводився моніторинг режимів роботи системи збору газу по всіх родовищах Львівського відділення ВНГК ГПУ «ПГВ».

Так у 2007–2008 рр. втрати тиску між входом в Червонодонську ДКС та гирлом свердловин сягали 4–4,5 атм, основними складовими яких були (в порядку збільшення впливу):

- втрати тиску в об'язці входу в Червонодонську ДКС;

- втрати тиску в газопроводах-відводах від 24 УКПГ до кільцевих газозбірних колекторів (в основному в кранових вузлах);

- втрати тиску в шлейфах свердловин (умовно не зменшувані);

- втрати тиску в основному газозбірному колекторі та кільцевих газозбірних колекторах.

Протягом 6 років за рекомендаціями відділу транспортування газу відновлено роботу 7 дренажних трубок в балках, через які прокладено колектори, додатково проведено врізання 4 дренажних трубок, проведено ревізію справності старих пробкових кранів на виході з УКПГ (охоронних) кранів, впроваджено технологію переведення ділянок в режими самоочищення (високошвидкісні потоки), в деяких випадках замінено об'язку технологічних ліній, що дозволило на теперішній час скоротити втрати тиску до 2,2–2,55 атм. При цьому видобуток газу по Шебелинському ГKR протягом останніх років був стабільним.

Результати визначення місць локалізації рідини та їх об'єму підтверджувались залученими до спільного виконання робіт фахівцями сторонніх організацій. Зокрема з метою прийняття рішення щодо врізання дренажного пристрою в районі УКПГ – 19 Шебелинського ГKR фахівцями ХІРЕ підтверджено за допомогою тепловізора наявність рідинного накопичення в балці в обсязі 4,1 м<sup>3</sup> [2].

Другим негативним впливом наявності забруднень та відповідних надлишкових втрат тиску є падіння величини робочого тиску на вході в ДКС, що при сталому завантаженні та необхідності підтримання високої величини вихідного тиску призводить до зростання витрати паливного газу, збільшення витрат на охолодження. Доволі часто це притаманно для родовищ, на яких ДКС розміщена на центральному газозбірному пункті, на який подається газ як із високонапірних, так і низьконапірних свердловин, а отже стверджувати, що усунення забруднень дозволить досягти якогось додаткового резерву у робочому тиску свердловин неможливо.

Яскравим прикладом є газозбірна система Комарнівського ЦВНГК, останньою перед ДКС ділянкою якої Рудківський газозбірний колектор, споруджений та введений в експлуатацію в 1957 р.



За рахунок відведення рідини з пониженої ділянки між кранами № 72 та 73 в обсязі 44,1 м<sup>3</sup> досягнуто збільшення вхідного тиску на ДКС з 2,7 до 3,05 атм.

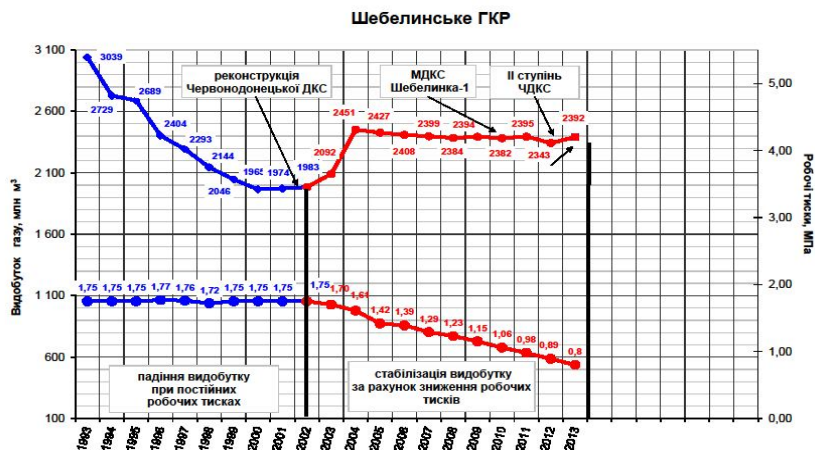


Рисунок 4 – Зміна видобутку газу на Шебелинському ГКР

Повертаючись до графіка видобутку газу з Шебелинського ГКР і стабілізації видобутку зауважимо, що однією з причин зменшення видобутку була неможливість подачі газу в повному об'ємі видобутку в систему МГ ШДК, оскільки пропускна здатність останнього зменшували надмірні втрати тиску, викликані наявністю забруднень в трьох балках, зокрема в районі УКПП-11 Шебелинського ГКР, в районі початку МГ ШДК та в балці поблизу с. Олексіївка Первомайського району. Обсяг цих втрат був оцінений за розробленим алгоритмом, проаналізовано можливість збільшення пропускної здатності трубопроводу та прийнято рішення щодо очистки цих ділянок за допомогою з'ємних дренажних пристроїв без припинення перекачування газу. До моменту введення в експлуатацію другої ступені компримування газу на ЧДКС вивільнення із порожнини трубопроводу понад 50 кубометрів технічної рідини, дозволило дещо зменшити вплив сезонної нерівномірності споживання газу на об'ємі його видобутку з Шебелинського ГКР.

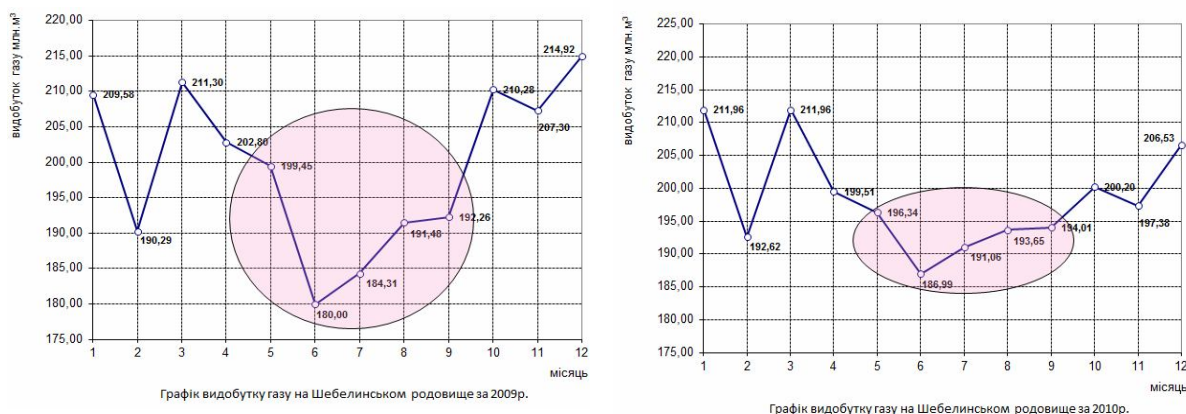


Рисунок 5 – Графік зміни видобутку газу по Шебелинському ГКР протягом 2009–2010 рр.

Крім того, усунення надмірних втрат в магістральному газопроводі після ДКС, дає змогу знизити величину робочого тиску на виході з ДКС.

Також крім розробки та впровадження заходів щодо зменшення надлишкових втрат тиску результати моніторингу гідравлічного стану дали змогу за останні роки провести такі види робіт:

– оцінити вплив зміни конфігурації газозбірних колекторів Шебелинського ГКР на розподіл величини робочого тиску на виході з УКПГ (в результаті прийнято рішення щодо доцільності вибору місця встановлення I ст. компримування газу на базі колишньої Глазунівської ДКС)

– спрогнозувати розподіл тиску газу та потоки газу, що надходять на Хрестищенську ДКС системою МГ ШДК, ШПК, ЄДК після її реконструкції;

– оцінити потоки газу по МГ в районі передачі газу з Комарнівської ДКС та надати рекомендації щодо доцільності введення в експлуатацію другої ступені компримування газу;

– обґрунтувати доцільність реконструкції газопроводу Степова УКПГ – Богодухів – Сухіни шляхом спорудження лупінгів для приймання високо напірного газу з Юліївського НГКР в літній період;

– зменшити вплив сезонної нерівномірності для Шебелинського родовища, родовищ Перещепинського промислу та Львівського відділення.

Як видно із вищенаведеного, гідравлічний стан газопроводу є чи не найважливішим чинником, що впливає на розподіл величин робочого тиску на об'єктах газотранспортної системи і суттєво позначається на об'ємах видобутку газу.

Отже, його моніторинг слід проводити щорічно по усіх ГПУ із оперативною передачею даних досліджень відповідним службам.

Для оперативного вирішення проблем, пов'язаних із визначенням гідравлічного стану газопроводів, оцінкою впливу надмірних втрат тиску в системі газопроводів на режими роботи УКПГ і свердловин, в галузі відсутня належна нормативна база. Зокрема, фахівці керуються нормативним документом (НД), що регламентує порядок проектування і спорудження трубопроводів, які перекачують однофазове середовище. Отже, в найближчій перспективі фахівцями відділу транспортування запропоновано створення та введення в дію такого НД.

### Література

1. ОНТП 51-1-85 Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы. Часть 1. Газопроводы [Текст] // Мингазпром – Москва, 1986.– С. 231.

2. Сапрыкин С.О. Применение термографии для диагностирования технического состояния газоперекачивающего оборудования [Текст]/С.О. Сапрыкин, В.Г. Шумков // Вісник інженерної академії України. – 2011.– № 2.– С. 203–206.

### Bibliography (transliterated)

1. ONTP 51-1-85 Obschesoyuznyie normyi tehnologicheskogo proektirovaniya. Magistralnyie truboprovodyi. Chast 1. Gazoprovodyi [Tekst]. Mingazprom – Moskva, 1986.– P. 231.

2. Sapryikin S.O. Primenenie termografii dlya diagnostirovaniya tehniceskogo sostoyaniya gazoperekachivayuschego oborudovaniya [Tekst]. S.O. Sapryikin, V.G. Shumkov. Visnik inzhenernoyi akademiyi Ukraini. – 2011.– # 2.– P. 203–206.

УДК 622.691.4

Братах М.И., Заид Халил Ибрахим, Гребенюк С.Д.

### **ВЛИЯНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОПРОВОДОВ НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ ОБЪЕКТОВ ГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПЛЕКСА**

В статье представлены результаты исследований гидравлического состояния газопроводов системы сбора и транспортирования газа. Обоснована необходимость проведения оперативного мониторинга гидравлического состояния газопроводов.

Bratakh M.I., Zaid Khaleel Ibrahim, Grebenyuk S.D.

### **INFLUENCE OF THE FIELD GAS PIPELINES SYSTEM HYDRAULIC STATE ON OBJECTS OPERATING MODES OF THE GAS PRODUCTION COMPLEX**

The paper presents results of the hydraulic state evaluation for gas pipeline system. The necessity of the operational monitoring of pipelines hydraulic state are explained and justified for gas production company specialists.

УДК 669.184.288: 669.5.004.82

Ульянов В.П., Булавин В.И., Крамаренко А.В., Ульянова И.В.

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ПЫЛЕЙ И ШЛАМОВ ОСНОВНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕРЕДЕЛОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ**

**Введение.** Авторами данной статьи разработана и испытана в опытно-промышленных условиях ОАО «НЛМК» новая эффективная технология термической восстановительной переработки некондиционных железосодержащих пылей и шламов (ЖПШ) основных металлургических переделов с получением товарного металлизированного продукта [1]. С учетом опыта применения разработанной технологии на ОАО «НЛМК» (Россия) и МК им. Ильича (Украина) нами выбран оптимальный вариант утилизации ЖПШ на ОАО «ММК» (Россия) – переработка их в металлизированный продукт с использованием вышеуказанной технологии [2]. Технологическая схема (рис. 1), обеспечивающая переработку ЖПШ, описана нами в работе [3].

**Изложение основного материала.** Задача контроля технологических процессов подготовки ЖПШ и их термической обработки по разработанной нами технологии [1] заключается в предоставлении эксплуатационному персоналу информации о ходе технологических процессов и поддержании рабочих технологических параметров в заданных пределах; в своевременном обнаружении отклонений от установленного технологического режима, что позволяет быстро устранять их и предотвращать нарушения процесса переработки на всех стадиях технологической схемы.

Рекомендуемые нами методы контроля подразделяются на лабораторные и автоматические. К лабораторным методам контроля относится проведение химических анализов. В начале отбирают пробы исходных ЖПШ, вспомогательного сырья, продуктов переработки сырьевой массы, затем производят их химическую обработку (химический анализ) и производят по методикам соответствующие вычисления. Как правило, результаты химического анализа получают в течение от 0,5 до нескольких часов с момента отбора проб. В то же время для непрерывного процесса переработки необходимо своевременное обнаружение отклонений параметров технологического режима от установленных норм технологического регламента. Поэтому вся технологическая линия установки переработки должна быть оснащена измерительными приборами автоматического контроля. Такие приборы не только указывают, но и сигнализируют об отклонении измеряемого параметра от заданного значения. Они являются также элементами системы автоматического регулирования. Регистрация показаний производится на значительном расстоянии от места замера – дистанционно. Это позволяет при установке приборов возле рабочих мест сосредоточить регистрацию всех основных показателей в одном месте – пункте управления.

Автоматизация технологических процессов подготовки и термической обработки обеспечивается применением регуляторов и регулируемых систем. Причем предусмотрена локальная автоматизация технологических узлов установки, связанных единым технологическим процессом.

Для комплексного управления установкой нами предусмотрены следующие мероприятия по КИП и автоматике производственных процессов:

- автоматическая весовая и объемная дозировка компонентов шихты;
- контроль уровней в расходных бункерах компонентов шихты и загрузки вращающейся печи, сигнализация верхнего и нижнего уровней в каждом бункере;
- автоматическое и дистанционное управление электроприводами узла смещения, транспортирующих устройств, тепловых агрегатов и тягодутьевого устройства;
- контроль температурного и аэродинамического режимов по тракту вращающейся и циклонной печей, дожигающего устройства, котла-утилизатора и газоочистки;
- контроль расходов и давлений материальных потоков (топливо, вентиляторный воздух, питательная вода и пар котла-утилизатора);
- автоматика и блокировка безопасности, световая и звуковая сигнализация при нарушении нормальной работы агрегатов установки;
- автоматическое регулирование (стабилизация) разрежения в загрузочной камере вращающейся печи воздействием на направляющий аппарат дымососа;
- стабилизация температуры дымовых газов перед котлом-утилизатором воздействием на расход вторичного воздуха;
- стабилизация коэффициента расхода воздуха в циклонной печи воздействием на отбор воздуха из шахтного холодильника конечного (металлизированного) продукта.

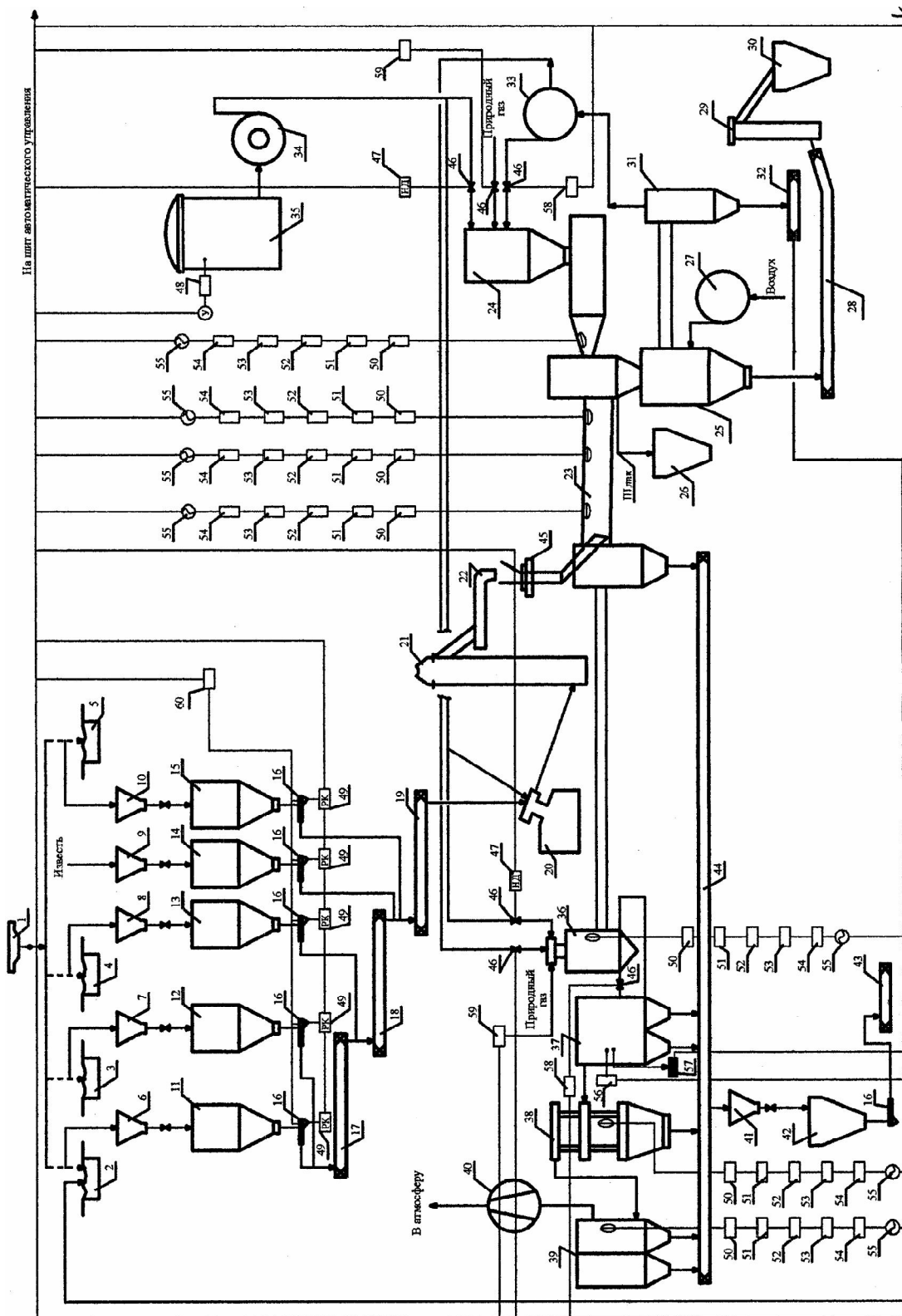


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства автоматического регулирования термической обработки металлургических переделов

В процессе комплексной переработки ЖПШ основными контролируемыми и регулируемыми величинами являются расходы ЖПШ, пыли известковой, бентонита, маслоотходов, дутьевого воздуха и топлива, питательной воды на котел-утилизатор; уровни основного и вспомогательного сырья в бункерах смесительных агрегатов и в сборнике маслоотходов; температура в циклонной и вращающейся печах, теплоносителя, на выходе из циклонной печи, в дожигающем устройстве, температура отходящих газов на входе в котел-утилизатор и пара котла-утилизатора; давление – разрежение в системе термообработки сырых окатышей и котле-утилизаторе.

Для измерения температур ( $150\div 300$  °С) использованы термопары, свободные концы которых присоединяются к клеммам гальванометра. Термопары вложены в термокабель, который сочетает в себе термоэлектродные и изоляционные материалы. Термокабель представляет собой гибкий зонд, в котором внутри металлической оболочки размещена термоэлектродная проволока (количество проволок 2,4,6). В качестве термоэлектродных материалов использована проволока на основе пар: NiCr - Ni, Fe - Constantan, NiCr - Constantan. Термоэлектроды изолированы один от другого и от оболочки керамическим материалом, защищающим их от механических повреждений и коррозии, и экранирующим от электромагнитных полей. Для регулирования температуры предусмотрен регистрирующий самопишущий прибор с возможностью поддержания входной величины по программе ДИСК-250П.

При автоматизации работы элементов установки переработки ЖПШ особенные требования предъявляются к контролю и регулированию остаточного давления (разрежения) в циклонной и вращающейся печах, в котле-утилизаторе.

Для дистанционного контроля давления-разрежения использованы тягонапорометры (стандартные) с электрической и пневматической передачей показаний. Контроль давления-разрежения ведут с использованием электрических манометров-вакуумметров с преобразователем САПФИР-22ДД-Вн для автоматического контроля, регулирования и управления технологическим процессом. Преобразователь обеспечивает непрерывное преобразование давления-разрежения в унифицированный токовый выходной сигнал дистанционной передачи. Давление маслоотходов в трубопроводах необходимо регулировать пневматическими регуляторами и регуляторами прямого действия. В качестве регистрирующей системы применили трехканальный самопишущий прибор А-543.

Объемы теплоносителя и отходящих газов измеряли при помощи диафрагмы – металлического диска с отверстием посередине. Диафрагма закрепляется между двумя фланцами трубопровода. Для измерения давления и разрежения была вмонтирована диафрагма с манометром.

Регулирование расхода маслоотходов и питательной воды вели с использованием регуляторов (стандартные), в которых регулируемый дроссель совмещен с мембранным редуктором перепада давления. Редуктор автоматически изменяет величину впускного отверстия, дросселируя поток на входе и тем самым, поддерживая постоянный перепад давления на дросселе. Указанные средства измерения расходов обеспечивали плавное бесступенчатое изменение подачи от  $0,0025$  до  $3,5$  м<sup>3</sup>/ч жидкости при напоре  $100\div 4000$  мм вод. ст. В качестве преобразователя разности давлений в измерительный токовый сигнал использовали прибор «Сапфир-22ДД-Вн2410» с классом точности 0,5, а в качестве регистрирующей системы – самопишущий прибор, работающий по программе ДИСК-250П.

Для контроля и сигнализации уровня основного и вспомогательного сырья в накопительных бункерах использовался прибор контактного типа (стандартный), в котором вмонтирован контактный переключатель и механический преобразователь тормозного момента, сообщаемого сыпучим материалом вращающемуся в аппарате рабочему органу (ротор, крыльчатка, лопатка). На стенке (верхней или боковой) прибора устанавливался контактный сигнализатор (датчик верхнего и нижнего уровней материала) наличия в бункере сыпучего материала.

Для контроля и регулирования уровня маслоотходов и питательной воды в сборниках применяли мембранные датчики давления компенсационного типа (стандартные). Работа этих датчиков основана на измерении давления гидростатического столба жидкости и преобразовании его в пропорциональный пневматический выходной сигнал. Датчик давления имеет мембранный измерительный узел и пневматический преобразователь линейного перемещения мембранного блока, выполненный по методу компенсации усилий.

Для автоматического определения содержания пыли (запыленность) в отходящих газах использовались фотоколориметры, принцип действия которых основан на изменении прозрачности газов в зависимости от их запыленности.

Производителями описанных выше измерителей и регуляторов являются Витебское производственное объединение «ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬ» и Гомельский завод измерительных приборов (р. Беларусь).

Все описанные выше средства контроля и автоматики являются прецизионными приборами и надежны в эксплуатации.

Для осуществления комплексной автоматизации и построения автоматизированной системы управления (АСУ) установкой переработки ЖПШ в настоящее время, целесообразно применять ЭВМ. При этом обеспечивается дистанционный контроль параметров процесса переработки и сигнализации их отклонений при сохранении высокой точности измерений, а также программная обработка поступающей информации и выдача ее на монитор компьютера в удобном для считывания виде.

Сопряжение рекомендованных выше аналоговых средств измерения с цифровой ЭВМ осуществляется обычно с использованием микроконтроллерных систем сбора данных. В случае отсутствия подходящей промышленно выпускаемой системы, она может быть реализована под заказ, к примеру, на сверхбольшой интегральной схеме (СБИС) универсального перепрограммируемого микроконтроллера.

На рис. 1 приведена принципиальная схема устройства системы автоматического регулирования процесса переработки ЖПШ. В схему входят следующие элементы: грейферный кран – 1; накопительная емкость железосодержащих пылей – 2; накопительная емкость железосодержащих шламов – 3; накопительная емкость шламов прокатного производства – 4; накопительная емкость бентонитовой глины – 5; загрузочная воронка бункера – 6; загрузочная воронка бункера – 7; загрузочная воронка бункера – 8; загрузочная воронка бункера – 9; загрузочная воронка бункера – 10; расходный бункер железосодержащих пылей – 11; расходный бункер железосодержащих шламов – 12; расходный бункер шламов прокатного производства – 13; осадитель известьсодержащей пыли – 14; расходный бункер отходов КХП – 15; дозирующее устройство – 16; смеситель – 17; смеситель – 18; смеситель – 19; окомкователь – 20; элеватор ковшевой – 21; конвейер ленточный – 22; трубчатая вращающаяся печь – 23; циклонная печь – 24; холодильник – 25; бункер-накопитель шлака – 26; воздуходувка – 27; конвейер винтовой – 28; элеватор ковшевой – 29; бункер-накопитель металлизированного продукта – 30; циклон – 31; конвейер винтовой – 32; воздуходувка – 33; шламовый насос – 34; сборник жидких маслоотходов – 35; дожигающее устройство циклонного типа – 36; котел-утилизатор – 37; циклон – 38; рукавный фильтр – 39; дымосос – 40; загрузочная воронка – 41; накопитель пыли – 42; смеситель-микроокомкователь – 43; конвейер винтовой – 44; питатель дисковый – 45; расходомеры – 46; регулирующий механизм НД (насос-дозатор) – 47; датчик уровня маслоотходов – 48; регулируемый клапан РК с пневмоприводом – 49; датчик с хромель-копелевой термопарой – 50; усилитель-преобразователь сигнала П-201 – 51; регистрирующий прибор потенциометра ЭПД – 52; ступенчатый импульсный прерыватель – 53; реверсивный магнитный пускатель – 54; исполнительный механизм – 55; датчик со ступенчатым контактным термометром для замера температуры пара – 56; датчик давления пара – 57; регулятор расхода воздуха – 58; регулятор расхода природного газа – 59; регулятор дозирования – 60.

Схемой автоматизации также предусмотрены: автоматическое включение резервных насосов; сигнализация рабочего состояния оборудования и аварийных технологических параметров.

**Выводы.** Разработана система автоматизированного контроля технологического процесса восстановительной термообработки ЖПШ основных металлургических переделов с получением металлизированных окатышей; описана принципиальная схема устройства системы автоматического регулирования процесса переработки ЖПШ.

### Литература

1. Ульянов В.П., Булавин В.И., Дмитриев В.Я. и др. Переработка некондиционных железосодержащих пылей и шламов металлургических переделов // *Сталь*, 2002.– № 12.– С. 69–75.
2. Патент Российской Федерации №2404271. Способ переработки некондиционных железосодержащих отходов металлургического производства / Патентообладатель ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / №2009107657/02; заявлено 03.03.2009; опублик. 20.10.2010. Бюл. №32.
3. Ульянов В.П., Булавин В.И., Крамаренко А.В., Ульянова И.В., Пермиков Ю.В. Технологическая схема переработки некондиционных железосодержащих пылей и шламов основных металлургических переделов с получением металлизированного продукта // *Вестник Национального технического университета «ХПИ»* – 2014.– №51(1093).– С. 111–128.

### Bibliography (transliterated)

1. Ulyanov V.P., Bulavin V.I., Dmitriev V.Ya. i dr. Pererabotka nekonditsionnyh zhelezosoderzhaschih pyley i shlamov metallurgicheskikh peredelov. *Stal*, 2002.– # 12.– P. 69–75.

2. Patent Rossiyskoy Federatsii #2404271. Sposob pererabotki nekonditsionnyih zhelezo-tsinksoderzhaschih othodov metallurgicheskogo proizvodstva. Patentoobladatel OAO «Magnitogorskiy metallurgicheskii kombinat» / #2009107657/02; zayavleno 03.03.2009; opubl. 20.10.2010. Byul #32.

3. Ulyanov V.P., Bulavin V.I., Kramarenko A.V., Ulyanova I.V., Permyakov Yu.V. Tehnologicheskaya shema pererabotki nekonditsionnyih zhelezosoderzhaschih pyiley i shlamov osnovnyih metallurgicheskikh peredelov s polucheniem metallizovannogo produkta. Vestnik Natsionalnogo tehnikeskogo universiteta «НПИ» – 2014.– #51(1093).– P. 111–128.

УДК 669.184.288: 669.5.004.82

Ульянов В.П., Булавин В.И., Крамаренко А.В., Ульянова И.В.

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ  
ТЕРМООБРОБКИ ФЕРУМВМІСНИХ ПИЛІВ ТА ШЛАМІВ ОСНОВНИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ  
ПЕРЕДІЛІВ З ОДЕРЖАННЯМ МЕТАЛІЗОВАНИХ ОКАТИШІВ**

У статті запропоновано систему автоматизованого контролю технологічного процесу відновної переробки ферумвмісних пиляв і шламів металургійних переділів з отриманням металізованих окатишів і описана принципова схема автоматичного регулювання процесу.

Ulyanov V.P., Bulavin V.I., Kramarenko A.V., Ulyanov I.V.

**AN AUTOMATED CONTROL OF PROCESS OF THERMAL REDUCTION OF IRON-CONTAINED  
DUSTS AND SLUDGES OF MAIN METALLURGICAL CONVERSIONS WITH OBTAINING OF  
METALLIZED PELLETS**

The paper proposes a system of automated control of the technological processes of thermal reduction of iron-contained dusts and sludges of main metallurgical conversions to obtain metallized pellets. A schematic diagram of the automatic control of the process is described.

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОРАЙОННОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ЧЕТЫРЕХТРУБНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ К ДВУХТРУБНОЙ**

Особенностью сложившихся систем централизованного теплоснабжения микрорайонов является большая протяженность тепловых сетей, что связано с принятой закрытой схемой приготовления горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд. Наличие общей водоподогревательной установки в микрорайонной системе обуславливает четырехтрубную распределительную сеть и существенные потери теплоты при транспортировке. Уменьшения общей длины микрорайонных тепловых сетей можно достичь, например, переходом на двухтрубные сети с устройством на индивидуальных тепловых пунктах зданий водоподогревательной установки горячего водоснабжения. Эффективность таких мероприятий необходимо оценивать для каждого конкретного микрорайона отдельно. Для этого можно использовать известные методики нахождения площади поверхности теплообменников [1] и вычисления потерь теплоты [2] и давления [3] в сети при известных характеристиках прокладки трубопроводов и тепловой изоляции. Указанные методики требуют значительного объема исходных данных, что затрудняет их использование при оценках на предварительных этапах проектирования. В этих случаях могут быть полезными упрощенные методики вычисления показателей.

Целью работы есть изучение закономерностей изменения тепловых и гидравлических показателей тепловых сетей микрорайона при переходе к двухтрубной схеме организации теплоснабжения.

Сравнение вариантов перехода проведено на примере трех идеализированных жилых групп со средней этажностью жилых зданий 5, 9 и 16. Все здания каждой из групп имеют одинаковое число этажей. Отопительные нагрузки микрорайонов и число жителей примерно одинаковые. Расход теплоты на горячее водоснабжение определен для отдельных зданий с учетом коэффициента часовой неравномерности потребления воды в зависимости от принятого числа жителей. Тепловая сеть микрорайона составлена из одной главной ветви. Число ответвлений от главной ветви равно числу зданий, расстояния между точками присоединения соседних ответвлений одинаковы. Теплопроводы проложены в непроходных каналах. Основные характеристики рассмотренных групп зданий приведены в табл. 1.

Общая длина теплопроводов микрорайонной сети ( $L$ ) найдена по формуле

$$L/Q_{o.max} = 10^3 / (0,47E + 0,6), \tag{1}$$

где  $Q_{o.max}$  – отопительная нагрузка микрорайона, МВт;  $E$  – средняя этажность.

Распределение длин трубопроводов главной ветви и ответвлений ориентировочно принято как 0,4/0,6. Диаметр ( $D$ ) теплопроводов вычислен из формулы

$$R(X) = 0,134 \cdot 10^{-4} G^2(X) / D(X)^{5,25}, \tag{2}$$

где  $G$  – расход сетевой воды;  $R$  – удельные потери давления на преодоление сил трения при движении воды в трубопроводе.

Таблица 1 – Характеристики микрорайонов

Показатель	Вариант		
	1	2	3
Этажность жилых зданий	5	9	16
Длина трубопроводов, м: – общая	5320	3271	1938
– главной ветви	2120	1308	775
– ответвлений	3200	1963	1163
Число жителей	10010	10080	10050
Максимальный расход теплоты, МВт			
– отопление	15,69	15,80	15,74
Горячее водоснабжение	8,67	8,67	8,67
Количество жилых домов	36	20	22



Изменение расхода воды по длине главной ветви в предположении монотонного характера изменения диаметра можно определить по формуле

$$G(X) = G_{\max} - G_{\Pi} \left( \frac{X}{L} \right)^n, \quad (3)$$

где  $G_{\max}$ ,  $G_{\Pi}$  – расход воды соответственно на входе в ветвь и через все ответвления на ней;  $L$  – общая длина главной ветви;  $X$  – текущая координата на ветви.

Показатель степени  $n$  в уравнении (3) зависит от конфигурации сети, координаты присоединения ответвлений к главной ветви и расхода воды через ответвления. Для принятой в работе конфигурации сети  $n = 1$  и уравнение (3) в безразмерном виде принимает вид

$$G_0(X_0) = 1 - G_{\Pi 0}(X_0), \quad (4)$$

где  $G_0(X_0) = G(X)/G_{\max}$ ;  $G_{\Pi 0} = G_{\Pi}/G_{\max}$ ;  $X_0 = X/L$ .

Диаметры трубопроводов отопительной сети и подающей линии системы горячего водоснабжения определены по максимальным тепловым нагрузкам и принятой величине удельных потерь давления  $R=50$  Па/м. Диаметр циркуляционного трубопровода горячего водоснабжения принят равным  $D_{\text{ц}} = 0,77D_n$  ( $D_n$  – диаметр подающего трубопровода). Удельные потери давления в циркуляционном трубопроводе вычислены по формуле (2), расход горячей воды в режиме циркуляции найден по величине тепловых потерь трубопроводами подающей линии ( $\Delta Q_n$ )

$$G_{\text{ц}} = \Delta Q_n / (C \cdot \Delta t_{\text{доп}}), \quad (5)$$

где  $C$  – удельная теплоемкость воды;  $\Delta t_{\text{доп}}$  – допустимое охлаждение воды в системе в режиме циркуляции (в расчетах принято  $8,5$  °C).

Теплопотери трубопроводами микрорайонов рассчитаны отдельно для отопительного и летнего периодов, по упрощенной методике [4], потери давления – по упрощенной методике [5]. Исходные данные для расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Исходные данные для сравнения вариантов

Показатель	Обознач.	Значение
Температура наружного воздуха (средняя за отопительный период), °C	$t_{\text{ср}}$	-2,1
Температура сетевой воды: подающая линия, °C	$T_{\Pi}$	85
обратная линия, °C	$t_o$	49
Температура горячей воды: подающая линия, °C	$t_{\Gamma}$	60
циркуляционная линия, °C	$t_{\text{ц}}$	45
Температура грунта на глубине заложения сети: (отопительный период / летний период)	$t_{\Gamma p}$	5,0/8,5
Длительность периода (отопительный / летний) суток	$T_{\text{оп}}/T_{\text{л}}$	190/160
Коэффициент учета потерь теплоты в конструктивных элементах тепловой сети	$K$	1,15
Коэффициент учета потерь давления в местных сопротивлениях	$K_M$	0,3
Коэффициент полезного действия насосов	$\eta_H$	0,6

Условный расход электроэнергии для транспортирования теплоносителя и горячей воды по микрорайонной сети вычислен по формуле

$$N_{\text{год}} = (H_{\text{гл}} + H_{\text{вв}}) G g T_1 T_2 / (1000 \eta_H), \quad (6)$$

где  $H_{\text{гл}}$  – потери давления на главной ветви;  $H_{\text{вв}}$  – требуемый напор на вводах здания;  $G$  – расход воды;  $g$  – ускорение свободного падения;  $T_1$  – длительность работы, суток;  $T_2$  – продолжительность работы системы за сутки, час.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

При вычислениях значение  $T_2$  для системы отопления и подающего трубопровода системы горячего водоснабжения принято равным 24 часа, для циркуляционного трубопровода горячего водоснабжения – 22 часа. Результаты определения основных показателей работы системы теплоснабжения микрорайонов приведены в табл. 3.

Переход к двухтрубной системе теплоснабжения микрорайона может осуществляться различным образом. В данной работе рассмотрены следующие схемы перехода: использование существующей сети трубопроводов отопления для транспортирования возросших расходов сетевой воды, покрывающих потребность в теплоте для отопления и горячего водоснабжения; реконструкция сети с целью увеличения диаметров теплопроводов для транспортирования большего расхода теплоносителя. Первая схема сопряжена с ростом потерь давления.

Таблица 3 – Результаты расчетов четырехтрубной схемы теплоснабжения микрорайонов

Показатель	Вариант		
	1	2	3
Этажность жилых зданий	5	9	16
Средний диаметр отопительной сети, м (главная ветвь/сеть в целом)	0,175/0,104	0,179/0,114	0,178/0,112
Средний диаметр трубопроводов ГВ – подающий (главн. ветвь/сеть в целом) циркуляционный (главн. ветвь/сеть в целом)	0,164/0,105 0,126/0,081	0,167/0,114 0,129/0,092	0,167/0,114 0,129/0,092
Материальная характеристика, м <sup>2</sup>	2095	1420	825
Теплопотери трубопроводами, ГДж/год:			
система отопления	9371	6039	3542
система горячего водоснабжения (ГВ)	11831	7648	4490
сеть в целом	21202	13687	8032
Условный расход электроэнергии, кВт час/год:			
система отопления	75887	80264	105281
система горячего водоснабжения (ГВ)	18740	28330	44889
сеть в целом	94629	108594	150170

Таблица 4 – Параметры двухтрубной системы теплоснабжения при переходе по первой схеме (условие перехода – неизменность диаметров сети)

Показатель	Вариант исполнения микрорайона		
	1	2	3
Этажность жилых зданий	5	9	16
Средний диаметр отопительной сети, м (главная ветвь/сеть в целом)	0,175/0,104	0,179/0,114	0,178/0,112
Отношение диаметров $D_2/D_4$ (главная ветвь/сеть в целом)	1,0/1,0	1,0/1,0	1,0/1,0
Материальная характеристика $M_2$ , м <sup>2</sup>	1107	746	434
Отношение $M_2/M_4$ *	0,53	0,525	0,526
Теплопотери сетью $\Delta Q_2$ , ГДж/год	15869	10225	5998
Отношение $\Delta Q_2/\Delta Q_4$	0,75	0,747	0,747
Условный расход электроэнергии $N_2$ , кВт час/год	219760	186869	228714
Отношение $N_2/N_4$	2,32	1,70	1,52
Увеличение условной мощности насосов для подачи теплоносителя	2,49	2,08	1,71
Увеличение требуемого напора	1,73	1,4	1,1

\* – Примечание: индекс «2» относится к показателям двухтрубной системы, индекс «4» – четырехтрубной.

Вторая схема связана с дополнительными капитальными вложениями на проведение демонтажных работ существующей и прокладку новой сети. Выбор варианта зависит от срока эксплуатации и состояния тепловых сетей (изношенности трубопроводов, тепловой изоляции), напора сетевой воды на вводе в микрорайон, наличие финансовых ресурсов для проведения работ по реконструкции и целого ряда других факторов.

Для двухтрубной схемы расчеты выполнены в следующей последовательности. По совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения зданий найден расход теплоносителя, причем при нахождении диаметров использована максимальная нагрузка горячего водоснабжения зданий, при вычислении условного расхода электроэнергии для подачи воды по микрорайонной сети – среднесуточная, рассчитанная с учетом коэффициента часовой неравномерности потребления воды.

Затем, при необходимости, по формуле (2) вычислены новые значения диаметров главной ветви и с учетом ответвлений к зданиям – средний диаметр трубопроводов микрорайонной сети, который использован при расчете тепловых потерь трубопроводами. Значение среднего диаметра главной ветви использовано при определении гидравлических характеристик. Результаты расчетов показателей работы систем теплоснабжения для указанных вариантов двухтрубной сети приведены в табл. 4,5.

Таблица 5 – Параметры двухтрубной системы теплоснабжения микрорайонов (условие перехода – равенство удельных потерь давления)

Показатель	Вариант исполнения микрорайона		
	1	2	3
Этажность жилых зданий	5	9	16
Средний диаметр отопительной сети, м (главная ветвь/сеть в целом)	0,202/0,121	0,206/0,133	0,214/0,135
Отношение диаметров $(D_2/D_4)$ * (главная ветвь/сеть в целом)	1,154/1,16	1,15/1,17	1,2/1,210
Материальная характеристика $M_2$ , м <sup>2</sup>	1287	870	523
Отношение $(M_2/M_4)$ *	0,614	0,613	0,63
Теплопотери сетью $\Delta Q_2$ , ГДж/год	17140	11090	6630
Отношение $\Delta Q_2/\Delta Q_4$	0.808	0.81	0.825
Условный расход электроэнергии $N_2$ , кВт час/год	121171	135728	217362
Отношение $N_2/N_4$	1,28	1.25	1,45
Увеличение условной мощности насосов для подачи теплоносителя	1,44	1,45	1,62
Увеличение требуемого напора	1,0	1,0	1,

\* – Примечание: индекс «2» относится к показателям двухтрубной системы, индекс «4» – четырехтрубной

**Выводы.** Анализ полученных данных показывает, что при переходе к двухтрубной системе по первой схеме следует ожидать годовое снижение потерь теплоты теплопроводами микрорайонной сети примерно на 25 %. В расчетах не зафиксировано влияние характеристик застройки (этажность, длина сетей). При переходе на двухтрубную систему по второй схеме снижение теплопотерь заметно ниже (18–19 %). Однако из-за роста расхода теплоносителя и потерь давления (увеличение требуемого напора на 10–30 %) переход по первой схеме требует примерно двукратного увеличения условного расхода электроэнергии для транспортировки по сети. Во втором случае, поскольку требуемый напор остается неизменным, рост расхода электроэнергии примерно в 1,5 раза обусловлен увеличением расхода теплоносителя.

#### Литература

1. Пластинчатые теплообменники в промышленности [Текст]: учеб. Пособие / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин и др.: под общ. ред. Л.Л. ТОВАЖНЯНСКОГО; национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – 232 с.
2. Тепловая изоляция [Текст]/под ред. Г.Ф. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1995. – 421 с.
3. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей [Текст] / под ред. А.А. Николаева. – М.: Стройиздат, 1965. – 359 с.

4. Алексахін О.О. Обчислення втрат теплоти у мікрорайонних теплових мережах [Текст] / О.О. Алексахін // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб.– К. «Техніка», 2014.– Вип. 114, с. 82–84.
5. Алексахін О.О. Втрати тиску у мікрорайонних теплових мережах [Текст] / О.О. Алексахін, О.В. Бобловський // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб.– К. «Техніка», 2014.– Вип. 114, с. 85–87.

Bibliography (transliterated)

1. Plastinchatyie teploobmenniki v promyshlennosti [Tekst]: ucheb. Posobie. L.L. Tovazhnyanskyy, P.A. Kapustenko, G.L. Havin i dr.: pod obsch. red. L.L. Tovazhnyanskogo; natsionalnyiy tehnikeskiiy universitet «Harkovskiy politehnicheskiiy institut». – Kharkov: NTU «HPI», 2004. – 232 p.
2. Teplovaya izolyatsiya [Tekst]. pod red. G.F. Kuznetsova. – M.: Stroyizdat, 1995. – 421 p.
3. Spravochnik proektirovshchika. Proektirovanie teplovyih setey [Tekst]. pod red. A.A. Nikolaeva. – M.: Stroyizdat, 1965. – 359 p.
4. Aleksahin O.O. Obchislennya vtrat toploti u mikrorayonnih teplovyh mrezhah [Tekst]. O.O. Aleksahin. Komunalne gospodarstvo mist: nauk.-tehn. zb.– K. «Tehnika», 2014.– Vip. 114, p. 82–84.
5. Aleksahin O.O. Vtrati tisku u mlkrorayonnih teplovyh mrezhah [Tekst]. O.O. Aleksahin, O.V. Boblovskiy. Komunalne gospodarstvo mist: nauk.-tehn. zb.– K. «Tehnika», 2014.– Vip. 114, p. 85–87.

УДК 658.264

Алексахін О.О., Єна С.В., Гордієнко О.П.

**ОЦІНКА ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ МІКРОРАЙОННОЇ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ ПРИ ПЕРЕХОДІ ВІД ЧОТИРЬОХТРУБНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ДО ДВУХТРУБНОЇ**

На прикладі груп будівель з однаковими тепловими навантаженнями, але різними характеристиками забудови проаналізовано зміну теплових втрат трубопроводами водяної мережі теплопостачання і витрат електроенергії для транспортування води територією мікрорайону при переході від чотиритрубної схеми організації теплопостачання до двотрубної. Отримані результати можуть бути корисними при розробці стратегії реформування мікрорайонної системи теплопостачання.

Aleksakhin O.O., Yena S.V., Hordiienko O.P.

**EVALUATION OF PARAMETERS CHANGES FOR A DISTRICT HEATING SYSTEM WHILE CONVERSING OF A FOUR-PIPE INTO A TWO-PIPE HEATING SYSTEM**

Changes of heat losses in the pipes heating system have been analyzed on the example of groups of buildings with identical thermal loads, but different characteristics of building. The costs of electricity for water transportation through the territory of the district under the conversing from a four-pipe into a two-pipe heating system have been considered. The results that were obtained during the analysis, may be useful for the working up of reform strategy of districts heat supply systems.

УДК 661.152.32

Дудка С.В., Подустов М.О., Дзевочко О.М., Рищенко І.М., Кушинський С.І.

**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ І ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСА ГРАНУЛОУТВОРЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ**

**Вступ.** В останні роки проведені комплексні дослідження [1, 2] по розробці технології отримання нового азотно-фосфорного добрива NPS 10:40:5, яке показало високу агрохімічну ефективність. На жаль широкомасштабного випуску такого добрива перешкоджають низька енергоефективність та невисокий рівень екологічної безпеки даного виробництва. З'явилася необхідність у коригуванні технологічних параметрів процесу методом математичного моделювання.

**Мета роботи.** Розробити математичну модель та програмне забезпечення процесу гранулоутворення мінеральних добрив і на їх основі розрахувати технологічні параметри даного процесу гранулоутворення при необхідному гранулометричному складі.

**Викладення основного матеріалу.** Математична модель процесу розроблялася з використанням апарату теорії нечітких множин [3, 4]. Цей метод є одним з найбільш сучасних підходів, що надає можливість приймати рішення в умовах нечіткої та неповної інформації про параметри об'єкта дослідження. Стосовно до процесу гранулоутворення мінеральних добрив ставилося завдання розрахувати технологічні параметри процесу при заданому гранулометричному складі. Розробка математичної моделі проводилася на основі отриманих експериментальних даних на ВАТ "Сумихімпром". Основними параметрами, що впливають на гранулометричний склад є [5]: співвідношення  $P_2O_5/SO_3$ , співвідношення  $CaO/SO_3$ , вологість пульпи ( $W$ , %), температура на виході з барабанного гранулятора-сушарки (БГС) ( $T_{вих}$ , К), розрідження в БГС, ( $P_p$ , кПа), діаметр крапель розпилюємої пульпи, ( $d_k$ , мм). Зв'язок даних параметрів за гранулометричним складом можна отримати через коефіцієнт гранулоутворення, розрахунок якого можна подати у наступному вигляді:

$$\frac{d_e^2}{d_p} = \exp \frac{K \cdot G_n}{3 \cdot (G_p + G_n \cdot (1 - K))}, \tag{1}$$

де  $d_e^2$  – еквівалентний діаметр гранул, мм;  $d_p$  – діаметр ретура, мм;  $G_n$  – витрата пульпи, кг;  $G_p$  – витрата ретура, що подається в БГС, кг;  $K$  – коефіцієнт гранулоутворення.

Еквівалентний діаметр гранул на виході БГС представлявся у вигляді залежності:

$$d_e^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{d_i}}, \tag{2}$$

де  $n$  – число фракцій;  $m_i$  – вміст  $i$ -ї фракції, %;  $d_i$  – середній ситовий розмір  $i$ -ї фракції, мм.

В рамках дослідження коефіцієнта гранулоутворення кожен фактор його формування представлявся у вигляді впорядкованої пари: самого фактора, для якого заданий діапазон можливих значень, і функції залежності коефіцієнта гранулоутворення від відповідного фактора. Задаючи систему всіх шести параметрів гранулоутворення у вигляді нечітко заданих величин, пропонується математично формалізувати шукану залежність:

$$A = \left( \begin{array}{l} K(P_p) | a_1 \leq P_p \leq b_1; K(d_k) | a_2 \leq d_k \leq b_2; \\ K(T_{вих}) | a_3 \leq T_{вих} \leq b_3; K\left(\frac{CaO}{SO_3}\right) | a_4 \leq \frac{CaO}{SO_3} \leq b_4; \\ K\left(\frac{P_2O_5}{SO_3}\right) | a_5 \leq \frac{P_2O_5}{SO_3} \leq b_5; K(W) | a_6 \leq W \leq b_6 \end{array} \right), \tag{3}$$

де  $a_i, b_i, i = 1 \div 6$  – мінімальне та максимальне значення факторів формування коефіцієнта гранулоутворення, які визначають граничні значення функції відповідного виду.

Використання теорії нечітких множин для формалізації залежності коефіцієнта гранулоутворення від формуючих його факторів дає можливість отримати наступні переваги:

- оперувати з нечітко заданими вхідними факторами (дані параметри можна уявити у вигляді діапазону можливих значень або таки що постійно змінюються у часі);
- використовувати при проведенні математичної формалізації шуканої залежності нечітко заданих критеріїв оцінки відповідності між основними факторами і коефіцієнтом гранулоутворення;
- проводити оцінку різноманітних можливих значень вхідних даних у допустимому діапазоні їх змін і простежити чутливість коефіцієнта гранулоутворення в залежності від цих варіацій;
- моделювати основні закономірності і взаємозв'язки достатньо складних динамічних систем шляхом їх формалізації на основі використання нечітко заданих величин, що є неможливим за допомогою точних значень вхідних факторів;
- отримати розподіл можливих значень коефіцієнта гранулоутворення в залежності від діапазону можливих значень кожного з факторів формування даного результативного показника, а також провести якісну оцінку як початкових даних, так і отриманих результатів моделювання даного процесу.

В рамках математичної формалізації співвідношень при визначенні коефіцієнта гранулоутворення слід зазначити, що необхідною умовою отримання рівнянь, що описують існуючі взаємозв'язки, виступають статистичні дані. Це пов'язано з тим, що саме експериментальні результати дають можливість говорити про наявність співвідношень між параметрами і змінними моделі.

Розглянемо 35 спостережень, які описують певний діапазон зміни послідовно однієї з вихідних змінних (нечітко задана величина) за одночасної фіксації на одному рівні решти змінних.

На основі отриманих емпіричних даних у вигляді нечітко заданих величин проведемо послідовно розрахунок еквівалентного діаметру гранул NPS добрив на виході з апарату БГС в розрізі 3-х фракцій, а також коефіцієнта гранулоутворення.

Результати розрахунку представлені у табл. 1.

Обробкою експериментальних даних були отримані рівняння залежності певного параметра і значення коефіцієнта гранулоутворення, що на його впливає, одночасно вказані діапазони значень, в межах яких отримані рівняння залишаються справедливими.

Розрідження,  $P_p$

$$\begin{aligned} y_1 &= -16.5K_1 + 16.835 \quad K_1 \in [0.99; 1.01] y_1 \in [0.17; 0.5] \\ y_2 &= K_2 \quad K_2 \in [0.99] y_2 \in [0.5; 0.67] \\ y_3 &= -33,696K_3 + 33.34 \quad K_3 \in [0.98; 0.99] y_3 \in [0.67; 1.0] \\ y_4 &= -0,711K_4 + 1 \quad K_4 \in [0.98; 1.04] y_4 \in [1.0] \\ y_5 &= 27.7K_5 + 27.8 \quad K_5 \in [1.01; 1.04] y_5 \in [0.17; 1.0] \end{aligned}$$

Діаметр крапель,  $d_k$

$$\begin{aligned} y_6 &= 1.2K_6 - 0.8 \quad K_6 \in [0.98; 1.04] y_6 \in [0.37; 0.44] \\ y_7 &= K_7 \quad K_7 \in [0.98] y_7 \in [0.37; 0.44] \\ y_8 &= 14,9K_8 - 14.26 \quad K_8 \in [0.98; 1.01] y_8 \in [0.44; 0.89] \\ y_9 &= 5.5K_9 - 4.7 \quad K_9 \in [1.01; 1.03] y_9 \in [0.89; 1.0] \\ y_{10} &= -56K_{10} + 58.68 \quad K_{10} \in [1.03; 1.04] y_{10} \in [0.44; 1.0] \end{aligned}$$

Температура сушильного агента на виході БГС,  $T_{вих}$

$$\begin{aligned} y_{11} &= -0.3K_{11} + 1.23 \quad K_{11} \in [0.99; 1.02] y_{11} \in [0.89; 0.9] \\ y_{12} &= -1,93K_{12} + 2.88 \quad K_{12} \in [0.98; 0.99] y_{12} \in [0.9; 0.92] \\ y_{13} &= 3K_{13} - 2.02 \quad K_{13} \in [0.98; 1.0] y_{13} \in [0.92; 0.98] \\ y_{14} &= K_{14} - 0.02 \quad K_{14} \in [1.0; 1.02] y_{14} \in [0.98; 1.0] \\ y_{15} &= -4K_{15} + 5.08 \quad K_{15} \in [1.02; 1.04] y_{15} \in [0.92; 1.0] \\ y_{16} &= 1.5K_{16} - 0.64 \quad K_{16} \in [1.02; 1.04] y_{16} \in [0.89; 0.92] \end{aligned}$$

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ**

Таблиця 1 – Статистична інформація у розрізі основних характеристик процесу гранулоутворення

№	K	P <sub>p</sub>	d <sub>к</sub>	T <sub>вих</sub>	CaO/SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /SO <sub>3</sub>	W	d <sub>e</sub> <sup>2</sup>
1	1,01	0,01	0,12	97,00	1,24	8,60	48,00	3,10
2	1,01	0,02	0,12	97,00	1,24	8,60	48,00	3,03
3	0,99	0,03	0,12	97,00	1,24	8,60	48,00	2,82
4	0,99	0,04	0,12	97,00	1,24	8,60	48,00	2,73
5	0,99	0,05	0,12	97,00	1,24	8,60	48,00	2,71
6	0,98	0,06	0,12	97,00	1,24	8,60	48,00	2,66
7	0,98	0,06	0,10	97,00	1,24	8,60	48,00	2,63
8	0,99	0,06	0,12	97,00	1,24	8,60	48,00	2,71
9	0,99	0,06	0,15	97,00	1,24	8,60	48,00	2,77
10	0,99	0,06	0,18	97,00	1,24	8,60	48,00	2,80
11	1,00	0,06	0,21	97,00	1,24	8,60	48,00	2,90
12	1,01	0,06	0,24	97,00	1,24	8,60	48,00	3,03
13	1,03	0,06	0,27	97,00	1,24	8,60	48,00	3,40
14	1,02	0,06	0,12	93,00	1,24	8,60	48,00	3,18
15	0,99	0,06	0,12	95,00	1,24	8,60	48,00	2,71
16	0,99	0,06	0,12	97,00	1,24	8,60	48,00	2,77
17	0,99	0,06	0,12	99,00	1,24	8,60	48,00	2,80
18	1,00	0,06	0,12	101,00	1,24	8,60	48,00	2,90
19	1,00	0,06	0,12	103,00	1,24	8,60	48,00	2,90
20	1,02	0,06	0,12	105,00	1,24	8,60	48,00	3,18
21	1,02	0,06	0,12	97,00	1,52	8,60	48,00	3,23
22	1,01	0,06	0,12	97,00	1,61	8,60	48,00	3,03
23	0,99	0,06	0,12	97,00	1,72	8,60	48,00	2,78
24	0,99	0,06	0,12	97,00	1,80	8,60	48,00	2,71
25	0,98	0,06	0,12	97,00	1,91	8,60	48,00	2,61
26	1,02	0,06	0,12	97,00	1,24	7,30	48,00	3,23
27	1,01	0,06	0,12	97,00	1,24	7,50	48,00	3,03
28	0,99	0,06	0,12	97,00	1,24	7,80	48,00	2,78
29	0,99	0,06	0,12	97,00	1,24	8,00	48,00	2,71
30	0,98	0,06	0,12	97,00	1,24	8,60	48,00	2,61
31	1,04	0,06	0,12	97,00	1,24	8,60	43,00	3,51
32	1,02	0,06	0,12	97,00	1,24	8,60	46,00	3,13
33	1,00	0,06	0,12	97,00	1,24	8,60	49,00	2,90
34	0,99	0,06	0,12	97,00	1,24	8,60	52,00	2,80
35	0,99	0,06	0,12	97,00	1,24	8,60	55,00	2,71

Співвідношення CaO / SO<sub>3</sub>

$$y_{17} = 0,947 \quad K_{17} \in [0,98; 1,04] \quad y_{17} \in [0,65]$$

$$y_{18} = K_{18} \quad K_{18} \in [0,98; 1,04] \quad y_{18} \in [0,67; 1,0]$$

$$y_{19} = -4,979K_{19} + 5,9 \quad K_{19} \in [0,98; 1,02] \quad y_{19} \in [0,8; 1,0]$$

$$y_{20} = -7,5K_{20} + 8,45 \quad K_{20} \in [1,02; 1,04] \quad y_{20} \in [0,65; 0,8]$$

Співвідношення P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / SO<sub>3</sub>

$$y_{21} = -2K_{21} + 2,89 \quad K_{21} \in [0,99; 1,02] \quad y_{21} \in [0,85; 0,91]$$

$$y_{22} = -9K_{22} + 9,82 \quad K_{22} \in [0,98; 0,99] \quad y_{22} \in [0,91; 1,0]$$

$$y_{23} = 1 \quad K_{23} \in [0,98; 1,04] \quad y_{23} \in [1]$$

$$y_{24} = 7.5K_{24} - 6.8 \quad K_{24} \in [1.02; 1.04] y_{24} \in [0.85; 1.0]$$

Вологість,  $W$

$$y_{25} = -1.581K_{25} + 2.34 \quad K_{25} \in [0.98; 1.04] y_{25} \in [0.78; 0.87]$$

$$y_{26} = 12.873K_{26} - 11.87 \quad K_{26} \in [0.98; 0.99] y_{26} \in [0.87; 1.0]$$

$$y_{27} = -3.25K_{27} + 4.2 \quad K_{27} \in [0.99; 1.03] y_{27} \in [0.87; 1.0]$$

$$y_{28} = -9K_{28} + 10.14 \quad K_{28} \in [1.03; 1.04] y_{28} \in [0.78; 0.87]$$

Система наведених рівнянь із зазначенням відповідних меж нечітко заданих величин і є математичною моделлю процесу гранулоутворення.

Останнім етапом є проведення досліджень методом математичного моделювання. Для цієї мети необхідно створити програмне забезпечення для автоматизації проведення оцінки коефіцієнта гранулоутворення в залежності від чисельних значень факторних ознак з використанням комп'ютерної техніки. Послідовність вирішення поставленої задачі представлена у вигляді наступного алгоритму (рис. 1).



Рисунок 1 – Алгоритм розв'язання задачі визначення залежності коефіцієнта гранулоутворення від формуючих його факторів у вигляді нечітко заданих величин

На підставі виконаного алгоритму була розроблена програма розрахунку в Microsoft Excel.

Результати досліджень показали, що при завданні гранулометричного складу в розрізі 3-х фракцій: 0,5–1,5 мм = 1 %, 1,5–4 мм = 97 %, 4–6 мм = 2 % необхідно підтримувати основні технологічні параметри в наступних діапазонах:  $P_2O_5/SO_3 = 8,3-8,6$ ;  $CaO/SO_3 = 1,81-1,91$ ;  $W = 43,1-43,9$  %, температура на виході БГС Твих, = 370,9–374,1 К, розрідження в БГС  $Pp = 0,011-0,018$  кПа, діаметр крапель розпиляємої пульпи  $dk = 0,102-0,115$  мм.



Були проведені дослідно-промислові випробування на промисловій установці ВАТ «Суміхімпром», які підтвердили результати математичного моделювання процесу. Похибка результатів склала 2,5 %.

Результати випробувань показали, що при отриманні основної гранулометричної фракції на рівні 97 % є можливість виключити з технологічної схеми системи класифікації, подрібнення, пилоочищення, транспортування зовнішнього ретуру. Це значно підвищує енергоефективність процесу та рівень його екологічної безпеки.

**Висновки.** Розроблена математична модель та програмне забезпечення процесу гранулоутворення мінеральних добрив. Аналіз результатів показав, що математична модель адекватно описує даний процес. Визначено оптимальні технологічні параметри процесу, підтримання яких дозволяє отримати товарну продукцію необхідного фракційного складу.

#### Література

1. Клименко Р.Н. Процесс кислотного разложения сирийского фосфорита / Р.Н. Клименко, В.И. Тошинский, С.В. Дудка // Східно-європейський журнал передових технологій. – Харків: ЧП "Технологічний центр", 2010. – № 5. – С. 4–7.
2. Дудка С.В. Исследование процесса пульпообразования в технологии гранулирования фосфоросодержащих удобрений марки "Суперагро NPS 10:40:5" / С.В. Дудка, В.И. Тошинский, Р.Н. Клименко // Интегрированные технологии та енергозбереження. – Харків: НТУ "ХП", 2012. – № 3. – С. 97–104.
3. Деменков Н.П. Нечетное управление в технических системах / Н.П. Деменков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 200 с.
4. Рыбин В.В. Основы теории нечетких множеств и нечеткой логики / В.В. Рыбин. – М.: МАИ, 3007. – 96 с.
5. Корнієнко Я.М. Вплив технологічних параметрів на кінетику процесу гранулоутворення органіко-мінеральних добрив / Я.М. Корнієнко // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2001. – № 4. – С. 141–148.

#### Bibliography (transliterated)

1. Klimenko R.N. Protsess kislotnogo razlozheniya siriyskogo fosforita. R.N. Klimenko, V.I. Toshinskiy, S.V. Dudka. Shidno-Evropeyskiy zhurnal peredovih tehnologiy. – Harkiv: ChP "Tehnologichniy tsentr", 2010. – # 5. – P. 4–7.
2. Dudka S.V. Issledovanie protsessa pulpoobrazovaniya v tehnologii granulirovaniya fosforosoderzhaschih udobreniy marki "Superagro NPS 10:40:5" / S.V. Dudka, V.I. Toshinskiy, R.N. Klimenko. Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya. – Harkiv: NTU "HPI", 2012. – # 3. – P. 97–104.
3. Demenkov N.P. Nchetnoe upravlenie v tehniceskikh sistemah. N.P. Demenkov. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2005. – 200 p.
4. Ryibin V.V. Osnovyi teorii nechetkih mnozhestv i nechetnoy logiki. V.V. Ryibin. – M.: MAI, 3007. – 96 p.
5. Kornienko Ya.M. Vpliv tehnologichnih parametrov na kinetiku protsesu granuloutvorenniya organomineralnih dobriv. Ya.M. Kornienko. Naukovi visti NTUU "KPI". – 2001. – # 4. – P. 141–148.

УДК 661.152.32

Дудка С.В., Подустов М.А., Дзевочко А.М., Рищенко И.М., Кушинський С.И.

#### **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ГРАНУЛООБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

В статье приведены данные по разработке математической модели и программного обеспечения процесса гранулообразования минеральных удобрений. Определены оптимальные технологические параметры данного процесса для получения товарной продукции необходимого качества.

Dudka, S.V., Podustov M.A., Dzevoshko A.M., Rushenko I.M., Kushinsky S.I.

#### **DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS AND SOFTWARE PROCESS GRANULOMETRY MINERAL FERTILIZERS**

The article presents data on the development of mathematical models and software process granulometry mineral fertilizers. Defined optimal technological parameters of the process for obtaining commercial products of the required quality.

**СИНТЕЗ ПНЕВМОАГРЕГАТА ФОРМОВОЧНОГО ПОЛУАВТОМАТА**

**Введение.** Формовочные автоматы используют, как правило, в составе автоматических линий, компоновка которых определяется выбранным технологическим процессом (безопочная, опочная формовка), типом формовочного автомата, временем охлаждения отливки в форме, типом литейного конвейера. Схема компоновки зависит также от расположения формовочных автоматов относительно литейного конвейера. При расположении автоматов вне конвейера облегчается подача к ним модельных плит и их обслуживание. Вместе с тем такое расположение приводит к увеличению площади, занимаемой линией, удлинит конвейер и усложняет его привод. На большинстве линий формовочные автоматы располагаются внутри конвейера [1].

Целью настоящей работы является описание метода синтеза пневматической системы управления формовочным полуавтоматом для автоматических линий.

**Исходные данные к проектированию пневматической системы управления формовочным полуавтоматом.** Исполнительными устройствами (ИУ) полуавтомата [2] служат пневматические цилиндры Ц<sub>1</sub> – Ц<sub>5</sub>, которым соответствуют выходы Z<sub>1</sub> – Z<sub>5</sub>, вибраторы В<sub>6</sub> и В<sub>7</sub> (выходы Z<sub>6</sub> и Z<sub>7</sub>), а также сопло для обдува формы С<sub>8</sub> (выход Z<sub>8</sub>). Цилиндр Ц<sub>1</sub> поднимает и опускает опоку, причем нижнее (исходное) положение контролируется конечным выключателем (ВК) x<sub>7</sub>, а верхнее – ВК x<sub>8</sub>. Подпрессовку производит цилиндр Ц<sub>2</sub>, исходное положение которого контролируется ВК x<sub>5</sub>, а конечное – реле времени τ(Z<sub>2</sub>), чья настройка определяет продолжительность подпрессовки. Цилиндр Ц<sub>3</sub> служит для выполнения протяжки. Цилиндр Ц<sub>4</sub> отодвигает шибер, что приводит к заполнению опоки формовочной смесью, причем исходное положение шибера контролируется ВК x<sub>9</sub>, а конечное – ВК x<sub>10</sub>. Цилиндр Ц<sub>5</sub> ставит траверсу в рабочее положение, контролируемое ВК x<sub>11</sub>.

Цикл работы начинается с нажатия на пусковую кнопку x<sub>1</sub> = 1, в результате чего опока перемещается вверх (Z<sub>1</sub> = 1) и останавливается в верхнем положении. Затем по сигналу x<sub>8</sub> = 1 включается вибратор (Z<sub>7</sub> = 1) и выдвигается шибер (Z<sub>4</sub> = 1). При этом формовочная смесь заполняет опоку, после чего по сигналу x<sub>10</sub> = 1 шибер возвращается в исходное положение ( $\bar{Z}_4 = 1$ ). По сигналу x<sub>9</sub> = 1 происходит отключение вибратора ( $\bar{Z}_7 = 1$ ) и опускается опока ( $\bar{Z}_1 = 1$ ). Далее по сигналу x<sub>7</sub> = 1 траверса выставляется в рабочее положение (Z<sub>5</sub> = 1). По сигналу x<sub>11</sub> = 1 поднимается опока (Z<sub>1</sub> = 1) и происходит подпрессовка (Z<sub>2</sub> = 1). Продолжительность последней контролируется реле времени, по сигналу τ(Z<sub>2</sub>) от которого опускается опока ( $\bar{Z}_1 = 1$ ), заканчивается подпрессовка ( $\bar{Z}_2 = 1$ ), выдвигается цилиндр протяжки (Z<sub>3</sub> = 1) и включается вибратор опоки (Z<sub>6</sub> = 1). По сигналу x<sub>5</sub> = 1 траверса возвращается в исходное положение ( $\bar{Z}_5 = 1$ ), а по сигналу x<sub>7</sub> = 1 выключается вибратор опоки ( $\bar{Z}_6 = 1$ ). После этого оператор вручную включает (x<sub>4</sub> = 1) обдув формы (Z<sub>8</sub> = 1) и отключает протяжку ( $\bar{Z}_3 = 1$ ). Цикл заканчивается.

Аварийный останов полуавтомата производится по сигналу x<sub>2</sub> = 1 путем прекращения подачи сжатого воздуха к ИУ с помощью клапана безопасности.

Назначение исполнительных устройств, а также их взаимодействие с входными устройствами показаны в табл. 1.

Таблица 1 – Взаимодействие входных сигналов и исполнительных устройств

Выходные сигналы		Входные сигналы	
Обозначение	Наименование операции	Исходное положение	Конечное положение
Z <sub>1</sub>	Перемещение опоки	x <sub>7</sub>	x <sub>8</sub>
Z <sub>2</sub>	Подпрессовка	x <sub>5</sub>	τ(Z <sub>2</sub> )
Z <sub>3</sub>	Протяжка	–	–
Z <sub>4</sub>	Перемещение шибера	x <sub>9</sub>	x <sub>10</sub>
Z <sub>5</sub>	Перемещение траверсы	–	x <sub>11</sub>
Z <sub>6</sub>	Встряхивание опоки	–	–
Z <sub>7</sub>	Встряхивание бункера	–	–
Z <sub>8</sub>	Обдув формы	–	–

**Формалізація описання роботи** пневматическої системи управління технологіческим об'єктом дозволяє перейти від словесного описання роботи системи к математическому, котре потребує для осущестлення структурного синтезу логіческої схеми системи управління (СУ). Формалізованне описання системи управління представляєтє в видє графа операцій (рис. 1) [3, 4].

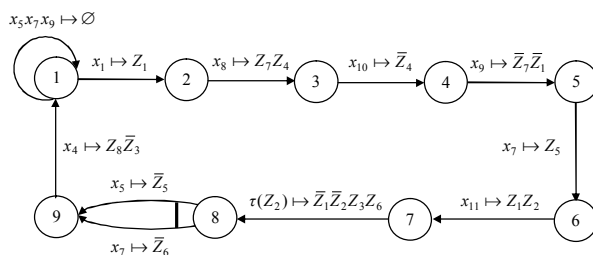


Рисунок 1 – Граф операцій

**Мінімізація системи управління.** Следующий этап логического проектирования после составления формализованного описания – структурный синтез [4, 5]. Выбор метода структурного синтеза определяется многими факторами: сложностью структуры, быстродействием и т.д.

Вначале следует провести анализ входной последовательности сигналов на содержание одинаковых входных наборов. Входная последовательность выглядит следующим образом:  $\{x_5 x_7 x_9^* \bar{y}, x_1 x_5 x_7 x_9 \bar{y}, x_5 x_8 x_9^{**} \bar{y}, x_5 x_8 x_{10} \bar{y} y, x_5 x_8 x_9^{**} y, x_5 x_7 x_9^* y, x_5 x_7 x_9 x_{11}^{***} y, \tau(Z_2) x_8 x_9 x_{11} y \bar{y}, x_5 x_7 x_9 x_{11}^{***} \bar{y}, x_4 x_5 x_7 x_9 \bar{y}\}$ , где одинаковые входные наборы отмечены \*, \*\*, \*\*\*. Она разбивается на два блока:  $\pi = \{ \{x_5 x_8 x_9^{**} \bar{y}, x_5 x_7 x_9^* y, x_5 x_7 x_9 x_{11}^{***} y, \tau(Z_2) x_8 x_9 x_{11} y \bar{y}\}, \{x_5 x_7 x_9 x_{11}^{***} \bar{y}, x_4 x_5 x_7 x_9 \bar{y}, x_5 x_7 x_9^* y, x_1 x_5 x_7 x_9 \bar{y}, x_5 x_8 x_9^{**} \bar{y}, x_5 x_8 x_{10} \bar{y} y\} \}$ . Здесь одинаковым числом звездочек помечены одинаковые входные наборы. Значит, в данном случае необходимо использовать один элемент памяти (ЭП) с двумя выходами – прямым и инверсным ( $y, \bar{y}$ ), а одинаковые наборы удлинить сигналами с выходов ЭП  $y$  и  $\bar{y}$ .

Теперь можно перейти к минимизации логических уравнений на основании матрицы соответствий (МС) с полными входными наборами [5, 6]. Для одинаковых наборов в столбцах проводится первоначальное удлинение соответствующими сигналами с выходов ЭП ( $y, \bar{y}$ ). МС имеет вид

	$x_1$	$x_5 x_8 \bar{y}$	$x_{10}$	$x_8 x_9 y$	$x_7 y$	$x_{11} y$	$\tau(Z_2)$	$x_5 \bar{y}$	$x_7 \bar{y}$	$x_4$	
$x_5 x_7 x_9^* \bar{y}$	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	$\emptyset$
$x_1 x_5 x_7 x_9 \bar{y}$	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	$Z_1$
$x_5 x_8 x_9^{**} \bar{y}$	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	$Z_4 Z_7$
$x_5 x_8 x_{10} \bar{y} y$	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	$\bar{Z}_4$
$x_5 x_8 x_9^{**} y$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	$S$
$x_5 x_7 x_9^* y$	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	$Z_5$
$x_5 x_7 x_9 x_{11}^{***} y$	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	$Z_1 Z_2$
$\tau(Z_2) x_8 x_9 x_{11} y \bar{y}$	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	$\bar{Z}_1 \bar{Z}_2 Z_3 Z_6$
$x_5 x_7 x_9 x_{11}^{***} \bar{y}$	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	$\bar{Z}_5$
$x_5 x_7 x_9 x_{11}^{***} \bar{y}$	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	$\bar{Z}_6$
$x_4 x_5 x_7 x_9 \bar{y}$	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	$Z_8 \bar{Z}_3$

Столбцы отвечают сигналам, вызывающим переходы СУ, а строки – входным наборам с учетом сигналов с выходов ЭП. На пересечении строки  $i$  и столбца  $j$  элемент МС  $r_{ij} = 1$ , если все входные сигналы СУ, отвечающие столбцу  $j$ , входят во входной набор СУ, который отвечает строке  $i$ ;  $r_{ij} = 0$  – в других случаях. «Жирными» единицами отмечены переходы. Противоречивые единицы находим по последовательности противоречивых выходных сигналов и обводим кружками.

В столбце  $x_1$  имеет место лишь одна «жирная» единица. Подробнее рассмотрим столбец  $x_8 \bar{y}$ , в котором единица, стоящая на пересечении со строкой  $\tau(Z_2) x_8 x_9 x_{11} y \bar{y}$ , вызывает появление выходных сигна-

лов УА  $\bar{Z}_4\bar{Z}_7$ . Эта единица является противоречивой и выделяется кружком. Для устранения недопустимой единицы в переходе с «жирной единицей» и набором  $x_5x_8x_9^{**}\bar{y}$  нужно найти минимальное количество сигналов, отсутствующих в наборе  $\tau(Z_2)x_8x_9x_{11}y\bar{y}$ . Конъюнкцией выбранных сигналов (например,  $x_5$ ) удлинится  $x_8\bar{y}$  и противоречие устраняется.

Аналогично, умножением на  $x_8$  удлинится выражение в столбце  $x_9y$ , где противоречивая единица, которая стоит на пересечении со строкой  $x_5x_7x_9x_{11}^{***}y$ , вызывает появление выходного сигнала УА  $\bar{Z}_1$ .

Сигналы удлинения наборов (сверху в столбцах) в результате устранения недопустимых единиц выделены жирным шрифтом. Единицы, стоящие на пересечении строки  $x_5x_8x_{10}\bar{y}y$  и столбца  $x_5x_8\bar{y}$ , строки  $\tau(Z_2)x_8x_9x_{11}y\bar{y}$  и столбца  $x_{11}y$ , устранения не требуют, поскольку они «исчезают» при переключении ЭП.

Логические уравнения включения ИУ и ЭП получаются в сборках логических выражений, записанных сверху МС для соответствующего «жирной» единице МС выхода. Система уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} S &= x_{10}; R = \tau(Z_2); Z_1 = x_1 + x_{11}y; \bar{Z}_1 = x_8x_9y + \tau(Z_2); Z_2 = x_{11}y; \bar{Z}_2 = \tau(Z_2); Z_3 = \tau(Z_2); \\ \bar{Z}_3 &= x_4; Z_4 = x_5x_8\bar{y}; \bar{Z}_4 = x_{10}; Z_5 = x_7y; \bar{Z}_5 = x_5\bar{y}; Z_6 = \tau(Z_2); \bar{Z}_6 = x_7\bar{y}; Z_7 = x_5x_8\bar{y}; \\ \bar{Z}_7 &= x_8x_9y; Z_8 = x_4. \end{aligned}$$

Введем промежуточные переменные, которые представляют собой наиболее повторяющиеся общие части уравнения:

$$w_1 = x_{11}y; w_2 = x_8y; w_3 = w_2x_9; w_4 = x_5\bar{y}; w_5 = w_4x_8.$$

Окончательно имеем:

$$\begin{aligned} S &= x_{10}; R = \tau(Z_2); Z_1 = x_1 + w_1; \bar{Z}_1 = w_3 + \tau(Z_2); Z_2 = w_1; \bar{Z}_2 = \tau(Z_2); Z_3 = \tau(Z_2); \\ \bar{Z}_3 &= x_4; Z_4 = w_5; \bar{Z}_4 = x_{10}; Z_5 = x_7y; \bar{Z}_5 = w_4; Z_6 = \tau(Z_2); \bar{Z}_6 = x_7\bar{y}; Z_7 = w_5; \\ \bar{Z}_7 &= w_3; Z_8 = x_4. \end{aligned}$$

Полученные уравнения реализуются непосредственно [7] (рис. 2).

**Выводы.** Предложенный алгоритм синтеза пневмоагрегата формовочного полуавтомата может быть использован при проектировании литейных машин с большим технико-экономическим эффектом, так как дает возможность синтезировать минимальные по числу аппаратов схемы.

#### Литература

1. Технология конструкционных материалов [Текст] : учеб. для вузов / А.М. Дальский [и др.]; под общ. ред. А.М. Дальского. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с. – ISBN 5-217-03198-0.
2. Системы пневмоавтоматики в станкостроении [Текст] / А.И. Кудрявцев, Ю.И. Келлерман, М.В. Черкашенко [и др.]. – М.: НИИМаш, 1977. – 84 с.
3. Юдицкий С.А. Проектирование дискретных систем автоматики [Текст] / С.А. Юдицкий, А.А. Тагаевская, Т.К. Ефремова. – М.: Машиностроение, 1980. – 232 с.
4. Cherkashenko M. and etc. Synthesis of discrete control systems of industrial robots // Automation and Remote Control (USA). – 1981. – V42, N5. – P. 676–680.
5. Черкашенко М.В. Метод логического проектирования дискретных систем управления машин-автоматов с пневмо- или гидроприводом [Текст] / М.В.Черкашенко // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. – М.: Машиностроение, 1981. – Вып. 8. – С. 181–189.
6. Черкашенко М.В. Синтез минимальных схем гидропневмоагрегатов [Текст] / М.В. Черкашенко. – М.: Пневмогидромашины, 2013. – 265 с.
7. Cherkashenko M. Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation [Text] / M.Cherkashenko // International Fluid Power Symposium. – Aachen, Germany, March 20–22, 2006. – Fundamentals. The report N 1. – P. 147–154.

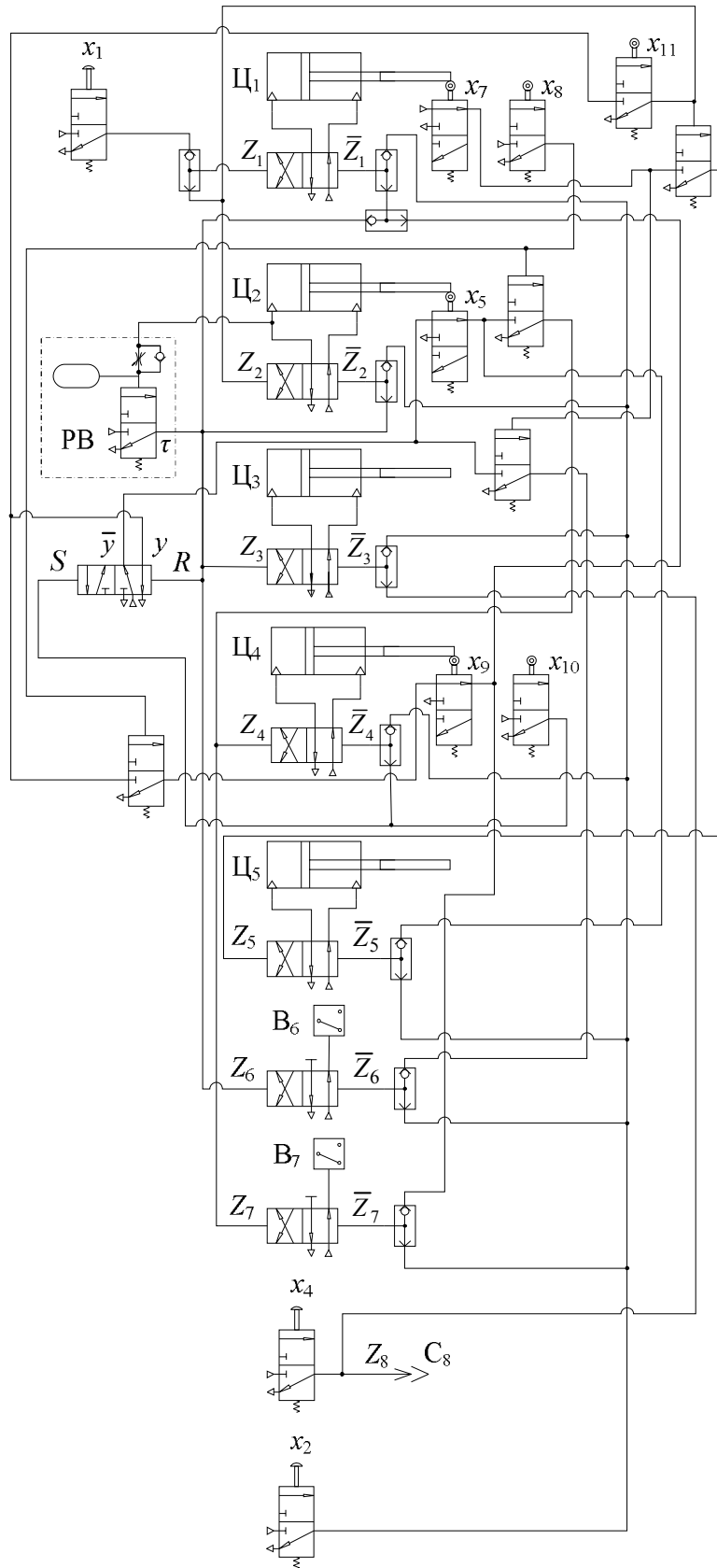


Рисунок 2 – Схема управління формувочним полуавтоматом

Bibliography (transliterated)

1. Tehnologiya konstruktsionnykh materialov [Tekst] : ucheb. dlya vuzov. A.M. Dalskiy [i dr.]; pod obsch. red. A.M. Dalskogo. – 5-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 2004. – 512 p. – ISBN 5-217-03198-0.
2. Sistemy pnevmoavtomatiki v stankostroenii [Tekst]. A.I. Kudryavtsev, Yu.I. Kellerman, M.V. Cherkashenko [i dr.]. – M.: NIIMash, 1977. – 84 p.
3. Yuditskiy S.A. Proektirovanie diskretnykh sistem avtomatiki [Tekst]. S.A. Yuditskiy, A.A. Tagaevskaya, T.K. Efremova. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 232 p.
4. Cherkashenko M. and etc. Synthesis of discrete control systems of industrial robots. Automation and Remote Control (USA). – 1981. – V42, N5. – P. 676–680.
5. Cherkashenko M.V. Metod logicheskogo proektirovaniya diskretnykh sistem upravleniya mashin-avtomatov s pnevmo- ili gidroprivodom [Tekst]. M.V. Cherkashenko. Pnevmatika i gidravlika. Privody i sistemy upravleniya. – M.: Mashinostroenie, 1981. – Vyip. 8. – P. 181–189.
6. Cherkashenko M.V. Sintez minimalnykh shem gidropnevmoagregatov [Tekst]. M.V. Cherkashenko. – M.: Pnevmodromashiny, 2013. – 265 p.
7. Cherkashenko M. Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation [Text]. M. Cherkashenko. International Fluid Power Symposium. – Aachen, Germany, March 20–22, 2006. – Fundamentals. The report N 1. – P. 147–154.

УДК 621.225

Черкашенко М.В., Полушкін К.О.

**СИНТЕЗ ПНЕВМОАГРЕГАТА ФОРМУВАЛЬНОГО НАПІВАВТОМАТА**

Наведена загальна характеристика формувальних автоматів і напівавтоматів, що використовуються для виготовлення ливарних форм, як правило, у складі автоматичних ліній, компонування яких визначається обраним технологічним процесом (безопокове, опокове формування), типом формувального автомата, часом охолодження відливка у формі, типом ливарного конвеєра, а також розташуванням формувальних автоматів відносно ливарного конвеєра. Пропонується пневматична схема управління формувальним напівавтоматом, синтезована методом мінімізації.

Cherkashenko M.V., Polushkin K.A.

**SYNTHESIS OF PNEUMOAGGREGATE OF MOLDING SEMI-AUTOMATIC DEVICE**

The general description of molding automats and semi-automatic devices is presented. These devices utilize for casting forms making in a composition of automatic transfer lines, arrangement of which is determined by the chosen technological process (snap-flask molding, flask molding), type of molding automat, time of cooling of founding in the form, type of casting conveyer and also disposition of molding automats relative to the casting conveyer. The pneumatic control scheme of a molding semi-automatic device, synthesized by the method of minimization, is offered.

**К ВОПРОСУ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ПОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ ТУГОПЛАВКИХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИЗ РАСТВОР-РАСПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ГАЛОИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ**

**Введение.** Нитевидные кристаллы тугоплавких соединений – один из наиболее перспективных видов армирующих наполнителей для создания сверхпрочных и жаропрочных композиционных материалов на металлической, полимерной и керамической основе. Кроме того, указанные нитевидные кристаллы и композиции на их основе могут широко использоваться как теплоизоляционные и огнезащитные средства, а также как материалы для защиты от инфракрасного и лазерного излучения [1–4]. Основная причина этого – уникально высокая прочность, свойственная всем нитевидным кристаллам, связанная с высоким совершенством их структуры и поверхности. Высокая энергия межатомной связи, характерная для тугоплавких соединений, обуславливает большинство остальных наиболее ценных свойств кристаллов этих соединений при использовании их в качестве армирующего наполнителя. К выше отмеченным перспективным тугоплавким соединениям относятся гексатиты калия, оксиды титана, магния, алюминия, карбиды кремния и ряда других соединений. Для создания специальных материалов перспективными являются титанаты бария, кальция, стронция, а также высокотемпературные сверхпроводники на основе иттрия, висмута [5, 6]. Поисковые работы по производству нитевидных кристаллов и созданию композиционных материалов на их основе были начаты еще в 1960–1961 гг. Это направление актуально и интенсивно развивается в данный период [7, 8]. Несмотря на это, успехи в армировании нитевидными кристаллами указанных соединений значительно скромнее, особенно в отношении создания композиций на металлической и керамической основе. По мнению авторов [1–8] это объясняется недостаточным уровнем отработки методов и технологий выращивания нитевидных кристаллов к малым объемам их производства. В большинстве технологий, применяющихся для производства качественных нитевидных кристаллов указанных соединений, используется метод кристаллизации из раствор-расплавов [9–11]. Основным недостатком известного метода является крайне низкая производительность и получение кристаллов с прочностью менее 100 кг/мм<sup>2</sup>.

Судя по имеющимся данным, для всех наиболее разработанных процессов производительность примерно одинакова и составляет около 0,05–0,1 г/час на диаметр кубического объема рабочего пространства печи с учетом только времени ее работы в режиме роста. Практически это означает 150–200 кг кристаллов в году с печи примерным объемом ~ 1–2 м<sup>3</sup>. В связи с этим усилия, направленные на то, чтобы всеми возможными путями поднять производительность процессов выращивания, являются актуальным и перспективным направлением.

**Анализ литературных данных.** Результаты экспериментальных и теоретических исследований процессов по выращиванию нитевидных кристаллов из раствор-расплавов достаточно полно освещены в работах [9–16]. Согласно указанным работ в качестве растворителей предпочтительно используются расплавы: KCl-KF, KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-KF, K<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>, KCl-NaCl, BaCuO<sub>2</sub>-CuO. В качестве растворимых веществ в расплаве растворителя используются: K<sub>2</sub>Ti<sub>6</sub>O<sub>13</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O (n=1÷6); смесь TiCl<sub>2</sub>, TiCl<sub>3</sub>, в которой доля TiCl<sub>3</sub> ~ 35 %; YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub>; Bi<sub>2</sub>(Sr, Ca)<sub>3</sub>CuO<sub>8</sub>+Y и др.

При этом доля растворимого вещества, вводимая в раствор, в зависимости от типа вещества, не превышает 3–10 %<sub>мас</sub>. При больших концентрациях растворимого вещества происходит химическое взаимодействие между растворителем и растворенным веществом, как, например, это показано для систем KCl-TiCl<sub>3</sub>, TiCl<sub>2</sub> в работе [11]. Было установлено, что при концентрациях Σ TiCl<sub>2</sub>, TiCl<sub>3</sub> более 10 %<sub>мас</sub> при продувке воздуха над слоем раствор-расплава образуются преимущественно в процессе кристаллизации игольчатые кристаллы K<sub>2</sub>TiCl<sub>n</sub> и K<sub>3</sub>TiCl<sub>6</sub> с окраской от густо-зеленого до желтовато-салатного цвета с показателем преломления 1,5÷1,78.

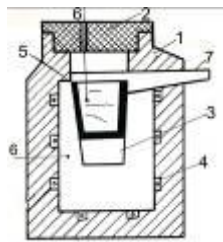
Согласно [9–16] технологический процесс получения нитевидных кристаллов включает следующие операции:

- **Подготовка растворителя** (смешение необходимых компонентов, активационный помол преимущественно в виброударных агрегатах и/или гомогенизация и активация смеси при больших сдвиговых усилиях – двухшнековые реакторы-смесители). Такая обработка растворителя позволяет снизить температуру его плавления на 50–80 °С;
- **Подготовка шихты.** Под шихтой подразумевается растворимое вещество или смесь компонентов, из которых при температуре растворителя может образоваться растворимое вещество. Подготовка шихты

аналогічна методу підготовки розчинителя, що інтенсифікує процес розчинителя шихти в расплаве;

- **Получение реакционной смеси** (смешение растворителя и шихты в необходимых соотношениях и гомогенизация смеси, загрузка готовой смеси в реактор);
- **Проведение технологического процесса** выращивания кристаллов в реакторе (нагрев готовой смеси до температуры  $800 \div 1200$  °C); выдержка расплава при указанных температурах с целью гомогенизации расплава и образования субмикроструктурных образований («включений»), которые до наступления видимой кристаллизации находятся в кинетическом равновесии с раствором (нестабильное состояние);
- **Проведение процесса кристаллизации.** Создание в реакторе по высоте раствор-расплава за счет регулировки температур и/или одновременного обдувания поверхности расплава ламинарным потоком газа перепада температур  $20 \div 200$  °C. В зависимости от типа шихты в качестве газа используется воздух, водяной пар, кислород, газ, содержащий кислород (воздух), и компонент, из которого в результате химического взаимодействия образуется оксид, восстановительный или инертный газ. После создания перепада температур при исключении вынужденной и подавлении свободной (гравитационной) конвекции в слое расплава в течение 1–1,8 часа осуществляется процесс роста нитевидных кристаллов, основная масса которых накапливается в приповерхностном более холодном объеме расплава в виде слоя толщиной до 25–30 мм. В указанном слое накапливается до 95 %<sub>мас.</sub> закристаллизованного вещества. После завершения процесса слой образовавшихся нитевидных кристаллов снимается с поверхности расплава или при медленном охлаждении закристаллизовывается вся масса в растворе.
- **Выделение целевого продукта** (нитевидных кристаллов из затвердевшего расплава (солевой матрицы). Губчатая масса нитевидных кристаллов, снятая с поверхности расплава, насыщена затвердевшей солевой матрицей. Выделение кристаллов осуществляется обработкой губчатой массы в течение до 70 часов горячей дистиллированной или обессоленной водой при  $T/J=1/(50 \div 100)$  в присутствии острого пара до полной отмычки от ионов растворителя. Влажные волокна сушатся в течение 10–25 часов при температуре 150 °C до остаточной влажности 0,1–0,2 %, классифицируются с выделением необходимых размеров по длине и соотношения длины к их диаметру. Выход продукционной фракции, как правило, не превышает 40–45 %<sub>мас.</sub> от полученных кристаллов. В случае кристаллизации всей массы расплава в реакторе масса извлекается, дробится и далее обрабатывается, как указано выше. При этом выход продукционной фракции уменьшается до 30 % за счет процесса дробления закристаллизованной массы.
- **Технологический процесс** предусматривает дополнительные операции: утилизацию и очистку газовых выбросов; утилизацию стоков после операции выделения кристаллов методом выпаривания с возвратом твердой солевой матрицы на подготовку растворителя; утилизацию некондиционного продукта.

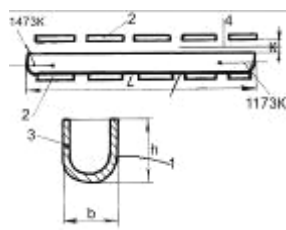
Основные операции по проведению технологического процесса выращивания нитевидных кристаллов осуществляется в реакторе-печи. Наиболее широко распространены реакторы периодического действия, принципиальные схемы которых приведены на рис. 1, 2 [9–16].



1 – кладка печи; 2 – крышка печи; 3 – стальной стакан со сливом; 4 – электроспираль; 5 – платиновый тигель; 6 – термодатчики; 7 – подача газа и слив расплава

Термодиффузия по высоте тигля  $\Delta T = 5-20$  К

Платиновый тигель  
d = 280 мм  
H = 310 мм



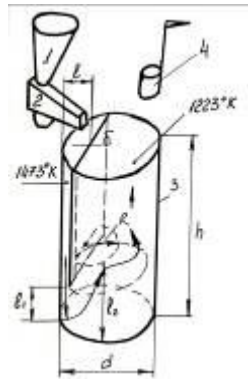
Термодиффузия  
 $\Delta T = 300$  К

L= 280 см  
h= 310 см  
b=20 см  
k=3-10 см

Рисунок 1, 2 – Принципиальные схемы реакторов периодического действия для выращивания кристаллов (опытно-промышленные образцы)



Имеются сведения о возможности организации процесса в реакторах полупериодического и непрерывного действия [9-16], принципиальные схемы лабораторных реакторов приведены на рисунке 3, 4.

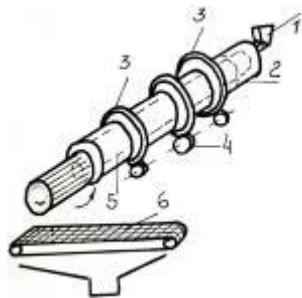


Термодиффузия  
 $\Delta T = 300\text{K}$

$d = 15,26 \text{ мм}$   
 $h = 25 \text{ мм}$   
 $\delta = 20 \text{ см}$   
 $l = 3 \text{ см}$   
 $l_1 = 5 \text{ см}$   
 $l_2 = 10 \text{ см}$   
 $R = 7,5 \text{ см}$

1 – бункер шихты; 2 – вибропитатель; 3 – реактор (графит, платина); 4 – устройство для съема кристаллов (платина)

Рисунок 3 – Принципиальная схема реактора полупериодического действия для выращивания кристаллов



Термодиффузия  
 $\Delta T = 300\text{K}$

$d_p = 50 \text{ см}$   
 $H_p = 250 \text{ см}$

1 – питатель шихты; 2 – корпус печи; 3 – опорные ролики;  
 4 – привод; 5 – реакционная камера (корунд, алунд, платина, окись циркония); 6 – подвижная ленточная сетка

Рисунок 4 – Принципиальная схема реактора непрерывного действия для выращивания кристаллов

Анализ приведенных конструкций реакторов и условий протекания процесса в них [9–16] позволяют сделать вывод о том, что наиболее перспективной конструкцией для организации поточного процесса выращивания нитевидных кристаллов из раствор-расплава по замкнутому циклу является реактор, представленный на рисунке 3. Этот вывод можно обосновать, исходя из требований создания регулируемого температурного перепада по высоте слоя раствор-расплава при одновременном исключении вынужденной конвекции и переноса кристаллизующего вещества в зону кристаллизации, в основном за счет термодиффузии.

**Постановка задачи.** Несмотря на достаточно большой объем публикаций, освещающих технологические приемы и аппаратное оформление процесса выращивания нитевидных кристаллов из раствор-расплавов, данные о механизме и кинетике переноса растворенного вещества в зону кристаллизации, о методах расчета и управления этими процессами отсутствуют. Отсутствие этой информации и модельных представлений о процессах термодиффузии в рассматриваемых системах не позволяет создать реактор непрерывного действия и, соответственно, поточную технологическую схему процесса.

В данной публикации, используя известные литературные данные, также результаты собственных исследований [11–16, 17–20] представлены новый технологический процесс, конструкция реактора, а также модельные представления о процессе, протекающем в реакторе.

**Основные результаты.** Цель, которая ставилась при выполнении исследований в работах [11–16, 17–20], может быть сформулирована следующим образом: упрощение процесса выращивания и выделения нитевидных кристаллов в сравнении с известными способами; создание поточного процесса и повышение производительности реакторной установки; увеличение выхода однородных кристаллов по геометрическим размерам и снижение количества некондиционного продукта; повышение прочности кристал-

лов; уменьшение объема сточных вод. Согласно [11–16, 17–20] поставленная цель достигнута в результате того, что процесс осуществляют в реакторе, имеющем четыре реакционно-температурных зоны. В первую зону в расплав солевой матрицы, имеющей температуру по высоте зоны (1100÷1200) до (1000÷1100) °С ( $\Delta T \sim 160$  °С), дозируется гранулированная шихта. В качестве шихты, в зависимости от типа получаемых кристаллов, могут быть использованы:  $K_2Ti_6O_{13}$ ;  $TiO_2$ ;  $YBa_2Cu_3O_x$ ;  $Bi_2(Sr, Ca)Cu_2O_{8+y}$ ;  $BaTiO_3$ , то есть вещества, которые должны быть подвергнуты перекристаллизации. Дозировка осуществляется таким образом, чтобы в конце I зоны образовался слабый раствор компонента в солевой матрице ( $< 3\%$ ). В качестве шихты могут быть использованы: смесь  $TiCl_2$  и  $TiCl_3$  (доля  $TiCl_3$  от  $\Sigma TiCl_2, TiCl_3 - 30\%$ );  $MgC_{12}nH_2O$ ; смесь  $K_2CO_3-TiO_2$ , то есть компоненты шихты, из которых образуются в расплаве солевой матрицы соединения  $TiO_2$ ,  $MgO$ ,  $K_2Ti_6O_{13}$  и, соответственно, в конце I зоны растворы этих компонентов в матрице. Для интенсификации процессов растворения, а также проведение химического взаимодействия между компонентами шихты в среднюю часть I зоны подается в виде струй реакционный газ. Если компоненты шихты содержат указанные хлориды Ti и Mg, то подается воздух или чистый кислород в количестве, обеспечивающем протекание химического взаимодействия по стехиометрии и соответственно отдувки газообразных продуктов реакции. Отходящие газы из I зоны подаются на очистку в абсорбер. По высоте I зоны установлены дырчатые перегородки под углом  $30^\circ$  к горизонтали, которые не доходят до противоположной стенки сосуда I зоны настолько, чтобы пропускать гранулы шихты, замедлять их скорость движения и предотвращать образование волн при переходе к II зоне, а также сетка, перекрывающая все сечение зоны.

Указанные технические приемы подавления вынужденной конвекции в расплаве и волнообразовании не противоречат известным приемам [21–23].

II зона – трубопроводная, соединяющая I и III зоны. В этой зоне от входа в нее до выхода (входа в III зону) температура изменяется от (1000÷1100) до (975÷1000) °С, и по длине зоны установлены сетчатые перегородки, которые исключают вихреобразование и появление волн.

III зона, как установлено экспериментально [11–16, 17–20], по поперечному сечению должна быть как минимум в 2 раза больше поперечного сечения I зоны. Наиболее рациональным является значение  $F_{III}/F_I \approx 3$ , где F соответственно поперечные сечения зон. В III зоне посредством секционных электронагревателей и обдувом поверхности расплава ламинарным потоком газа поддерживается разность температур по высоте расплава от входа в III зону до поверхности расплава от (975÷1000) до (900÷950) °С. Наиболее реальным соотношением размеров III зоны при промышленном производстве является: высота  $H \approx 80-200$  см, длина  $L = (0,8 \div 2,5)$  м, ширина  $B \approx (0,6 \div 0,8)$  м. Эти размеры экспериментально установлены [1–20], исходя из условий возможно точной регулировки температур и их перепадов ( $\Delta T$ ), а также минимальной инерции системы при изменении ее параметров. Для подавления распространения вихрей, образование которых неизбежно наблюдается у стенок внутри зоны, вблизи стенок установлены ситчатые экраны на расстоянии S, которые согласно [17–20] определяется по эмпирической формуле:

$$S_{opt} = 0,03[H / \Delta T_1^{0,25}], \quad (1)$$

где  $\Delta T_1$  – средняя разность температур между стенкой III зоны и средней температурой в центре зоны; 0,03 – эмпирический коэффициент;  $S_{opt}$  – расстояние, на котором целесообразно устанавливать экраны.

Во всех случаях [11–16, 17–20] нитевидные кристаллы в процессе роста накапливаются в приповерхностном более холодном слое III зоны. В зависимости от  $\Delta T$  по высоте H и концентрации раствора время накопления кристаллов длится от 15 до 120 минут, а толщина слоя плава, содержащего кристаллы, не превышает  $2,5 \div 5$  см.

Учитывая вышеотмеченные конфигурации, конструктивные размеры III зоны и описанные температурные режимы в ней, можно в III зоне рассматривать процесс неравновесной кристаллизации переохлажденного раствор-расплава в тонком межфазном слое между твердой и жидкой фазами. Как известно [24–25], математически такой процесс может описываться гиперболическим уравнением теплопроводности:

$$B(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \tau_r \frac{\partial^2 \theta}{\partial \tau^2} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + R(\theta), \quad (2)$$

где  $\theta$ ,  $y$ ,  $\tau$ ,  $\tau_r$  – безразмерная температура, координата, время и период релаксации соответственно.

Безразмерная скорость тепловыделения при кристаллизации  $R(\theta)$  описывается формулой:

$$R(\theta) = K(1 - \theta)^n \exp\left(-\frac{u}{A + (1 - A)\theta}\right); \quad (3)$$

при ( $R > 0$ )

Граничные условия:

$$\begin{aligned} \tau = 0; \theta = \theta_H; \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = V_H (\theta_H < 1, V_H < 0) \\ \tau > 0; \theta|_{y=0} = \theta_0; \theta|_{y=1} = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Подвод кристаллического компонента (растворенного вещества) к указанному межфазному слою осуществляется за счет термодиффузии, то есть необходимо рассматривать задачу о переносе теплоты и вещества при термодиффузии в ограниченном пространстве [26]. В этом случае диффузионный молярный поток кристаллизующего вещества описывается уравнением [27]:

$$J_1 = -D \Sigma C \left( \text{grad} \cdot x_1 + \frac{k_T}{T} \text{grad} T \right), \quad (5)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии;  $C$  – молярная концентрация;  $x_1$  – молярная доля кристаллизационного вещества;  $T$  – термодинамическая температура;  $k_T$  – коэффициент переноса.

Последний определяется из соотношения [27]:

$$k_T = x_1 \cdot x_2 \cdot \frac{M_1 - M_2}{M_1 x_1 + M_2 x_2} \cdot (2 - m), \quad (6)$$

где  $x_1, x_2$  – молярные доли кристаллизующего вещества в объеме при  $y=0$  и на поверхности раствор-расплава при

$$y = H_{p-p} - \delta,$$

где  $\delta$  – толщина закристаллизованного слоя,  $m \approx 0,6 \div 1$ .

Если принять допущения о том, что раствор-расплава есть сплошной средой, однородной и несжимаемой, а также пренебречь влиянием теплопроводности стенок реактора III зоны и принять, что в процессе охлаждения незакристаллизовавшегося вещества в жидкости отсутствует свободная (гравитационная) конвекция, то из условия возникновения и устойчивого существования возможно определить максимальную величину  $\delta$  по следующей зависимости:

$$\delta_{\max} = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{R_{\text{акр}} \cdot \nu_a}{g \cdot \beta \cdot \Delta T}}, \quad (7)$$

где  $R_{\text{акр}}$  – критерий Релея ( $R_{\text{акр}} = \text{Cr} \cdot \text{Pr} = \frac{g l^3}{\nu a} \beta \Delta T$ ), при котором возникает свободная конвекция  $R_{\text{акр}} = 1700$  [26];  $\nu$  – кинематическая вязкость раствор-расплава;  $a$  – коэффициент температуропроводности;  $\beta$  – температурный коэффициент объемного расширения;  $\Delta T$  – перепад температур.

Расчет величины  $\delta_{\max}$  по уравнению (7), как показано в [17–20], при принятых перепадах температур по высоте слоя раствор-расплава ( $H$ ), находится в пределах 2,0...3,0 см. В наблюдаемых экспериментах [17–20] толщина слоя, как отмечено выше, составляет 2,5...5 см, поэтому при расчете  $\frac{\partial \Gamma}{\partial H}$  необходимо учитывать влияние свободной конвекции путем введения эквивалентного коэффициента теплопроводности  $\lambda_{\text{эк}} = \lambda \cdot \varepsilon_k$ , где  $\varepsilon_k = f(\text{Ra})$  – коэффициент конвекции. Величина  $\varepsilon_k$  для рассматриваемого случая примерно равна  $\approx 1,1 \div 1,2$  [26].

Таким образом, диффузионный молярный поток межфазной поверхности, то есть к зоне кристаллизации можно определить, зная распределение температур, как по высоте слоя, так и по поперечным поверхностям (срезах по высоте). Указанное распределение температур, как следует из (5), определяет и интенсивность (скорость) переноса кристаллизуемого вещества.

Описанные процессы тепломассопереноса носят явно выраженный многомерный характер, в связи с этим для исследования процессов тепломассопереноса в III зоне необходимо решение задачи Стефана в двух – и трехмерной постановке с граничными условиями третьего рода, зависящими от координат и времени. Дифференциальное уравнение теплопроводности в декартовых координатах для исследуемого случая записывается в следующем виде:

$$\sum_{k=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_k} \cdot \left( \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x_k} \right) = C(T) \rho(T) \frac{\partial T}{\partial \tau};$$

или

$$\frac{d\lambda}{dT} \sum_{k=1}^3 \left( \frac{\partial T}{\partial x_k} \right)^2 + \sum_{k=1}^3 \frac{\partial^2 T}{\partial x_k^2} = C(T) \rho(T) \frac{\partial T}{\partial \tau}. \quad (8)$$

Краевые условия задачи:

$$\begin{aligned} \tau = 0; T = T_o; T_f = T_{fo}; \\ \tau > 0; x_k = L_k; \alpha_k [T(L_k, \tau) - T_p(\tau)] = -\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x_k}; \\ \tau > 0; x_k = 0; \frac{\partial T}{\partial x_k} = 0, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $C$  – теплоемкость;  $\rho$  – плотность раствор-расплава;  $T_f$  – температура внешней среды.

Рассматриваемая область представляет собой часть объема контейнера, ограниченную его стенками и плоскостями симметрии  $x_k = 0$ , совпадающими с координатными плоскостями.

Теплофизические параметры охлаждаемого материала считаются явно нелинейно зависящими от температуры. Основная нелинейность в изменениях  $\lambda$  и  $C$  имеет место на участке фазового перехода [24–25] могут удовлетворительно аппроксимироваться соотношениями:

$$C\rho(T) = B_1 \frac{\frac{\pi}{2} \pm \arctg [D(T - T_m)]}{[D(T - T_m)]^2} + B_2 \arctg [D(T - T_m)] + B_3 [D(T - T_m)] + B_4; \quad (10)$$

$$\lambda_{(T)} = A_1 \arctg [D(T - T_m)] + A_2 [D(T - T_m)] + A_3 [D(T - T_m)] + A_4. \quad (11)$$

Приведенные соотношения описывают изменение  $C\rho$  и  $\lambda$  в указанном диапазоне температур вне зависимости от фазового состояния вещества. Зависимость  $C\rho(\tau)$  включает в себя величину скрытого тепла фазового перехода и удовлетворяет требованиям, сформулированным [28]. В (10, 11):  $A_{1-4}$ ,  $B_{1-4}$ ,  $D$  – коэффициенты аппроксимации;  $T_m$  – максимальная температура тепловыделения.

Ввиду нелинейности уравнений (8–10) решение задачи находится по методу конечных разностей на равномерных прямоугольных сетках, который разработан [25].

Суть указанной схемы заключается в том, что на последовательных временных шагах расчет ведется попеременно, то по явной, то по неявной формулам, причем для соседних узлов сетки расчет ведется по различным формулам. Известно, что данная схема является абсолютно устойчивой и имеет порядок аппроксимации  $E = D(\tau, h^2)$ .

Поскольку схема классики аппроксимирует условие  $\frac{\partial^2 T}{\partial \tau^2} = 0$ , которое вы-

полняется либо при малых временных шагах, либо при малых значениях числа  $Bi_s = \frac{\alpha_k h_k}{\lambda_{(T)}}$ , необходимо

повысить точность рассматриваемой схемы расчета. Так как погрешность в базовой схеме «классики» возникает на этапах явного расчета, то для этого этапа используем соотношения устойчивой схемы Дюфорта-Франкела [29], для которой необходимо выполнение условия  $\frac{\Delta\tau}{h_{\min}} \rightarrow 0$  или, что тоже самое,

$$\frac{h_{\min}}{\Delta\tau} \rightarrow \infty.$$

С учетом вышесказанного, основные расчетные зависимости конечно-разностного расчета уравнений (8–9) (принимая во внимание соотношения разностной схемы) имеет следующий вид.

Для явного этапа расчета:

$$\int_{T_{i,k}^{n-1}}^{T_{i,k}^n} \frac{C_p \rho dT}{\lambda \Delta\tau} = \sum_{k=1}^3 \frac{d\lambda(T_{i,k}^n)}{dT} \left[ (1-S_1) \frac{\alpha_k^n}{\lambda(T_{i,k}^n)} (T_F^n - T_{i,k}^n) + (S_1 - S_2) T_{i,k+1}^n \right]^2 + \sum_{k=1}^3 \frac{\lambda(T_{i,k}^n)}{h_k} \left[ \frac{T_{i,k+1}^n - 0,5(T_{i,k}^{n+1} - T_{i,k}^{n-1})}{h_k} \right] (S_1 + S_2) + \frac{2\alpha_k^n}{\lambda(T_{i,k}^n)} \left( T_F^n - \frac{T_{i,k}^{n+1} + T_{i,k}^{n-1}}{2} \right) \quad (12)$$

$$(1-S_1) + (2-S_1-S_2) \frac{0,5(T_{i,k}^{n+1} + T_{i,k}^{n-1}) - T_{i,k-1}^n}{h_{i,k}}.$$

Для неявного этапа расчета:

$$\int_{T_{i,k}^{n-1}}^{T_{i,k}^n} \frac{C_p \rho \Delta T}{\Delta\tau} = \sum_{k=1}^3 \frac{d\lambda(T_{i,k}^{n+1})}{dT} \left[ (1-S_1) \frac{\alpha_k^{n+1}}{\lambda(T_{i,k}^{n+1})} (T_F^{n+1} - T_{i,k}^{n+1}) + (S_1 - S_2) \frac{T_{i,k+1}^{n+1} - T_{i,k-1}^{n+1}}{2h_k} \right]^2 + \sum_{k=1}^3 \frac{\lambda(T_{i,k}^{n+1})}{h_k} \left[ \frac{T_{i,k+1}^{n+1} - T_{i,k}^{n+1}}{h_k} \right] (S_1 + S_2) + \frac{2\alpha_k^{n+1}}{\lambda(T_{i,k}^{n+1})} (T_F^{n+1} - T_{i,k}^{n+1}) \quad (13)$$

$$(1-S_1) - (2-S_1-S_2) \frac{(T_{i,k}^{n+1} - T_{i,k+1}^{n+1})}{h_{i,k}}.$$

Здесь  $S_1, S_2$  – коэффициенты местоположения узла сетки, равные

$$S_1 = \begin{cases} 1 - \text{во внутренних узлах сетки} \\ 0 - \text{на внешней границе,} \end{cases}$$

$$S_2 = \begin{cases} 1 - \text{на границе} \\ 0 - \text{во внутренних узлах сетки} \end{cases}$$

$h_k$  – шаг.

При расчете по уравнениям (12), (13) искомая температура  $T_{i,k}^{n+1}$  определяется как корень нелинейного уравнения. Определение корней уравнений (12), (13) производим методом скорейшего спуска. Приведенный метод расчета процесса охлаждения отличается от известных методов следующим важным свойством: положение границы фазового перехода, определяемое по условиям  $T_{гр} = T_m$ , находится по уже рассчитанному полю температур и позволяет выбрать величины  $H, L, V$  для заданного объема реактора (требуемой производительности). Реализация программ расчета для систем  $-KF-TiO_2-K_2CO_3, KCl-NaCl-MsCl_2+\text{воздух}, KCl-NaCl-\Sigma TiCl_2, TiCl_3 - \text{воздух}$  позволили построить для каждой системы диаграммы, отражающие зависимость эффективной объемной теплоемкости ( $C_p$ ) и теплопроводности ( $\lambda$ ) от температуры процесса.

Следует отметить, что результаты, приведенные на диаграммах [17–20], не противоречат эксперимен-

тальним даним, приведені також і [17-20]. Такі параметри, як  $T_m$ ,  $T_F$ ,  $T_\infty$ ,  $\delta_{сл.ж.}$ ,  $N_{сп.р.}$ ,  $\rho_p$ , практично не відрізняються від установлених експериментально, абсолютні розходження розрахуноків з експериментом не перевищують 10 %.

Найбільш суттєвим є те, що якщо порівняти швидкість зміни температури по висоті шару, отриману в результаті розрахуноків за тепловою моделлю, з даними кінетичної моделі (5) і експерименту [17-20], то результати також дуже близькі між собою. В тому числі теплова модель передбачає і цілесобразність ступінчастого охолодження в разі, якщо не передбачено зняття кристаллів з поверхні розплаву, а передбачено кристалізація всієї солової матриці.

Сравниваючи величини  $N_{(L)}$  і маючи в виду постановку задачі про розробку універсального реактора для проведення розглянутих процесів, було прийнято рішення про створення конструкції реактора використовувати значення  $N_{(L)(max)}$  і  $N_{(L)min}$ .

Таким чином, на основі представлених вище математичних залежностей (2-13) можна проводити аналіз основних процесів, протікаючих в головній III зоні і проводити розрахуноків, в результаті яких для заданої продуктивності можна визначити основні розміри III зони.

Виходячи з технологічного процесу визначено [17-20], що для здійснення поточного процесу, підвищення якості кристаллів, збільшення виходу умовного продукту і зменшення кількості стічних вод при виділенні кристаллів, найбільш цілесобразно виробляти зняття кристаллів з поверхні розчину-розплаву. Зняті кристалли з певної частини солової матриці подаються в нутч-фільтр («корзиночка центрифуга»), який після зняття кристаллів і солової матриці герметизуються і знята маса піддається вакуумній обробці. Знята маса має, як правило, температуру, що відповідає 0,8-0,9 температури на поверхні розчину-розплаву III зони, тобто  $\sim 750-800$  °С. Давлення в фільтрі підтримується на рівні (0,001-0,08) МПа. При вакуумній обробці з поверхні кристаллів і всієї маси відбувається висхідна компонентів солової матриці. Як встановлено [17-20], швидкість висхідності визначається залежністю:

$$U = \pi r D \ln \frac{P - P_0}{P - P_H} \quad (14)$$

де  $D$  – коефіцієнт дифузії компонентів солей матриці;  $P$  – робоче тиск в фільтрі;  $P_0$  – парціальне тиск розчинника над кристаллом;  $P_H$  – тиск насичених парів розчинника при температурі дисоціації. Величина  $P_H$  розраховується за формулою:

$$P_H = P_{но} \left( 1 + \frac{2M\sigma}{rRT_D\alpha} \right) \quad (15)$$

де  $P_{но}$  – тиск парів розчинника при  $T_D$  над плоскою поверхнею тонкого шару розчинника молекулярною масою  $M$  і щільністю  $\alpha$ ;  $P_H$  – тиск над плівкою цього речовини товщиною  $r$ ;  $R$  – універсальна газова постійна;  $\sigma$  – поверхневе натягнення.

При дослідженнях [17-20] встановлено, що  $r \approx 10^{-4} \div 10^{-6}$  см,  $M \approx 7 \cdot 10^6$  г, товстий шар 3-4 см  $d = 1,448$  г / дм<sup>3</sup>,  $\sigma_{970^\circ C} \approx 85,7 \cdot 10^{-3}$  Н / м,  $D_{ст} \approx 0,536 \cdot 10^4$  см<sup>2</sup> / с. Обробка під вакуумом в часі 100-170 хвилин дозволяє видалити до 92 % мас солей матриці. Решта молекул розчинника ефективно видалені після вакуумної гонки потоком реакційного газу, об'ємний витрата якого відповідає співвідношенню:

$$V_G = V_k \cdot (3 \div 5) \quad (16)$$

де  $V_G$  – об'ємний витрата газу;  $V_k$  – об'єм маси кристаллів в фільтрі; (3 ÷ 5) – емпіричний коефіцієнт.

Тривалість обробки потоком газу  $\sim 200$  хвилин. Встановлено [17-20], що в результаті такої обробки знятих з поверхні розплаву нитевидних кристаллів, відбувається «лікування» дефектів кристаллів як на поверхні, так і в об'ємі. Показано, що зникають дефекти дислокації і упаковки, зникає шероховатість поверхні кристаллів.

Всі вище відзначені приводить до того, що різко зменшується вологість кристаллів і при клас-

сификации увеличивается выход кондиционного продукта  $\approx 20\%$ . После «лечения» дефектов кристаллы приобретают более высокую прочность на разрыв, которая возрастает по сравнению с известными технологиями производства в 1,5–2 раза. Так, например, показано [17–20], что прочность нитевидных кристаллов  $\text{MgO}$   $l/d=500$ ,  $d=1\div 2$  мкм возрастает от значения  $45\div 50$  кг/мм<sup>2</sup> (без обработки) до  $100\text{--}130$  кг/мм<sup>2</sup> (после обработки). Аналогичное увеличение прочности кристаллов наблюдалось и для других веществ. Особенно такая обработка снятых с поверхности расплава нитевидных кристаллов важна для получения кристаллов сверхпроводников. При этом в качестве реакционного газа используется чистый кислород. В работах [17–20] было показано, что при реализации процесса выращивания нитевидных кристаллов  $\text{Bi}_2\text{Sr}$ ,  $\text{Ca}_3\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$ , с использованием четырех температурных зон, были получены нитевидные кристаллы пластинчатого типа со средними размерами  $l=2000$  мкм,  $h=20$  мкм,  $d=20$  мкм, имеющие гладкую поверхность, без гофрировки. Прочность кристаллов на разрыв составляла  $90\div 105$  кг/мм<sup>2</sup>, сверхпроводимость наблюдается при критической температуре 98 К, переход осуществлялся в интервале  $\Delta T=(2\div 4)\text{K}$ .

Реализация технологического процесса выращивания нитевидных кристаллов из раствор-расплава с использованием четырех температурных зон может быть реализована в реакторе, принципиальная конструкция которого приведена на рисунке 5, 6, 7. Подробное описание технологического процесса с использованием четырех зон сделано выше. Здесь отметим следующее: опытно-промышленный реактор имел в III зоне  $H_{p-p}=120$  см,  $L=95$  см,  $B=75$  см,  $F_{III}$  (площадь поперечного сечения) =  $7125$  см<sup>2</sup>, I-зона представляла собой цилиндрическую емкость в поперечном сечении  $2850$  см<sup>2</sup> ( $D_1=62$  см), высота емкости  $H_1=180$  см, высота корпуса III зоны – 180 см.

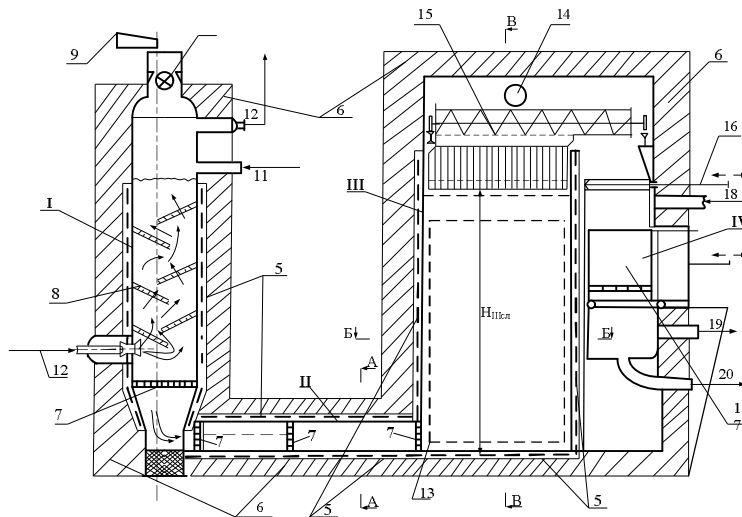


Рисунок 5 – Устройство для выращивания нитевидных кристаллов из раствор-расплава

I – зона получения нестабильного раствора кристаллизующего вещества в расплаве солевой матрицы; II – трубопроводная зона, соединяющая зоны I и III; III – ростовая зона; IV – зона выделения кристаллов и отделение солевой матрицы и «лечение дефектов»; 5 – секционные электронагреватели, обеспечивающие регулируемое изменение температуры по секциям; 6 – теплоизоляция; 7 – платиновые ситчатые перегородки, с ячейкой 2–3 мм; 8 – наклонные перфорированные перегородки, установленные к горизонту под углом 30°; 9 – вибродозирующее устройство компонентов шихты (гранул) в реактор, заполненный расплавом солевой матрицы; 10 – дозирующий затвор; 11 – штуцер для ввода расплава солевой матрицы при запуске раствора; 12 – штуцера ввода и вывода реакционных газов; 13 – ситчатые платиновые экраны в зоне роста III; 14 – трубопровод подачи реакционного газа; 15 – устройство для съема нитевидных кристаллов; 16 – шибер для приема кристаллов в зону IV и ее герметизации; 17 – корзиночный фильтр; 18 – штуцер для подачи реакционного газа и создания вакуума; 19 – штуцер для отвода реакционного газа; 20 – штуцер для отвода плава солевой матрицы в емкости для сбора

Корпуса I, II, III зоны в области контакта с раствор-расплавом выполнены из высокоогнеупорного корунда в виде туфелей, которые устанавливаются в сварной каркас, состоящий из внутреннего и наружного каркаса. Футеровка (теплоизоляция) корпуса выполнена в два слоя: внутренний легковес высокоглиноземистый, наружный – ультралегковес.

Нагреватели – силитовые стержни, расположенные горизонтальными рядами по длине корпусов реактора. В каждом корпусе реактора в первом слое изоляции расположены нагреватели, разбитые на 3 зоны и в каждой зоне соединены параллельно. Зона от зоны отделена перегородками из шамота высоко-

глиноземистого. Температура каждой зоны нагревателей контролируется отдельной термопарой. Вокруг наружного каркаса корпусов расположен фальш-кожух.

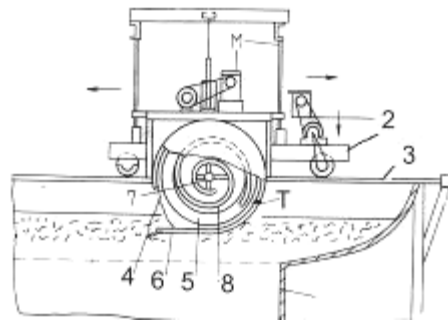


Рисунок 6 – Устройство для съема нитевидны кристаллов

1 – корпус реактора III зоны; 2 – мостовая тележка; 3 – рельсы; 4 – цилиндрический корпус шнека закрытый по торцам; 5 – многозаходный шнек, приводимый во вращение мотор-редуктором М; 6 – отбортованный обечайки корпуса шнека до точки Т, выполненный из крупноячеистой толстой платиновой сетки; 7 – вал шнека; 8 – черпаковая улитка

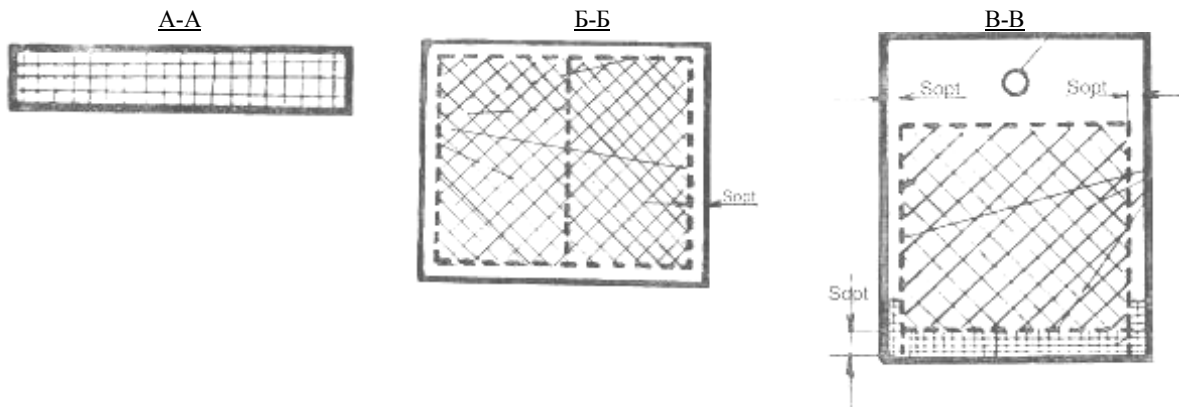


Рисунок 7 – Основные сечения зон II и III реактора

Части корпусов зон I и III, не соприкасающиеся с расплавом, выполнены из жаропрочной легированной стали, из этой стали изготовлено также устройство для съема кристаллов с поверхности расплава. Контроль температур непосредственно в расплаве по зонам корпусов I, II и III осуществляется платиновыми термопарами, которые стационарно установлены по высоте или длине указанных зон, а также по ширине зоны III. Регулировка температур нагревателей осуществляется силовыми блоками регуляторов РНТО-190-БЗ и печными трансформаторами.

На рисунке 6 представлено устройство для съема нитевидных кристаллов. По краям прямоугольного металлического корпуса зоны III (1) прикреплены рельсы (3), на которых установлена мостовая тележка (2). К тележке подвешен механизм сбора и выгрузки накопленных нитевидных кристаллов. Механизм представляет собой полуцилиндрический корпус (4), закрытый по торцам, внутри которого расположен многозаходный шнек (5), приводимый во вращение мотор-редуктором (М). При движении тележки справа налево отбортованный край обечайки корпуса (6) (выполненный из крупноячеистой толстой платиновой сетки) захватывает продукт с поверхности расплава и подают к шнеку. Шнек транспортирует материал к черпаковой улитке (8). При каждом обороте вала (7) улитка подает порцию снятой массы в IV зону, проходящую вдоль корпуса III зоны. Во время движения тележки в обратном направлении шнек выключается. Механизм привода позволяет регулировать скорость хода тележки, частоту вращения шнека и глубину погружения в раствор-расплав.

Эксплуатация вышеописанного устройства на одном из химических комбинатов Украины показала [17–20], что при перекристаллизации в системах  $KCl-NaCl-K_2Ti_6O_{13}$ ,  $KCl-NaCl-KTiOPO_4$  выход нитевидных кристаллов с  $l/d > 500$  ( $d \approx 1 \mu m$ ) составил более 69 %<sub>масс</sub> при общем выходе нитевидных кристаллов 90÷91 %. Для  $KTiOPO_4$  эти данные соответственно были 38 % и 90 %, что в 1,5÷1,8 раза выше, чем в известных прототипах. Причем при эксплуатации устройства была достигнута производительность 60–80 г/дм<sup>3</sup><sub>расп</sub>/час, что в 3–4 раза выше, чем в прототипах. Эксплуатация устройства [17–20] при использо-



вани систем  $KCl-NaCl-\Sigma TiCl_2$ ,  $TiCl_3$ ,  $KCl-NaCl-MgCl_2 \cdot nH_2O$  дозволила досягти продуктивності до  $12-20 \text{ г/дм}^3_{\text{расп}}/\text{час}$ , то єсть в 2–3 рази вище, ніж в відомих прототипах.

При цьому, як показано в [17–20], витрати води на миття нитевидних кристалів від соляної матриці практично виключається, а втрата компонентів розчинника зменшується в 10 разів.

**Висновки.** В даній публікації представлений новий технологічний процес одержання нитевидних кристалів тугоплавких неорганічних сполук шляхом кристалізації з розчин-розплавів галоїдів щелочних металів, а також конструкція реакторної установки для реалізації процесу. Технологічний процес передбачає наявність чотирьох послідовно з'єднаних температурних зон, в яких підтримується заданий температурний градієнт. Для зон, в яких відбувається безпосередньо ріст кристалів і їх виділення, представлені математичні моделі процесів, представлена конструкція реактора для реалізації процесу. Показано, що запропонований технологічний процес і його конструктивне оформлення дозволяє забезпечити неперервну подачу і вивіз реагентів, а також збільшити продуктивність порівняно з відомими прототипами в 3–4 рази.

#### Література

1. Бафферд А. Сучасні композиційні матеріали [А. Бафферд, Л. Браутман, Р. Герцбергер і др.] під ред. Л. Браутмана, Р. Крока, І.Л. Светлова [пер. з англ. Г.С. Петелиної] М.: Мир, 1970. – 672 с.
2. Сыркин В.Г. Матеріали майбутнього / В.Г. Сыркин М.: Наука, 1990. – 192 с.
3. Композитні матеріали: словник [Під редакцією Д.М. Карпиноса].– К.: Наукова думка, 1985. – 592 с.
4. Reeve K.D. New materials development at ANSTO / [K.D. Reeve, D.S. Perera, W.S. Buys, E.R. Vance] // Mater Austral – 1990 vol. 22, №8. – p. 16–17.
5. Шишелова Т.Н. Нитевидні кристали [Т.Н. Шишелова, Н.Е. Степанова, Д.А. Польніська, Д.А. Беляєва] // Успіхи сучасного естествознання 2009. URL: [www.Rae.ru/use/section=contentsop=showarticle@articleLD=7787444](http://www.Rae.ru/use/section=contentsop=showarticle@articleLD=7787444).
6. Wisker (metallurgy) // Wikipedia, the free Encyclopedia – [http://en.wikipedia.org/wiki/whisker\\_\(metallurgy\)](http://en.wikipedia.org/wiki/whisker_(metallurgy)) (дата звернення: 27.06.2010).
7. Микро и наномир современных материалов [Электронный ресурс] / Хим. фак-т МГУ, каф. неорганической химии, лаборат. неорг. Материаловедения. – 2006. – 69 с. (Режим доступа <http://fmg.inorg.chem.msu.ru>).
8. Miyazawa K, Synthesis and Properties of Fullerene Nan tubes // J. Nanosci. Nanotechnol. 2009 v. 9. №1 p. 41–50.
9. Патент Ru 2006129236 МПК С.01.Г23/00. Способ одержання титаната калія / А.В. Гороховський (Ru). Заяв. 200612936/15 заяв. 11.08.2006; опубл. 10.06.2008.
10. J.B. Abel, A.Dreyh, C.Sytton. Вирощування з расплава і характеристика монокристалів ВТСПУВСО // Physica 1989. p. 162–164 (909).
11. Шаповров В.П. Технологія неорганічних армуючих наповнювачів. Дис. доктора технічних наук: 05.17.01 / Шаповров Валерій Павлович – Х. 1995 – 365 с.
12. Шаповров В.П. О возможности применения методов нанохимии для анализа и интенсификации химико-технологических процессов / В.П. Шаповров, В.В. Себко // Вестник НТУ «ХПИ» – 2012. – №6 (967). – с. 164–176.
13. Шаповров В.П. Технологические закономерности процессов, которые лежат в основе массового производства вискоз неорганіческих тугоплавких соединений / Шаповров В.П., Себко В.В., Шестопалов А.В. // Вестник НТУ «ХПИ» – 2013. – №27 (1070). – с. 114–141.
14. Шаповров В.П. Технологические закономерности процессов образования и роста нитевидных кристаллов неорганіческих соединений и расплав-растворов / Шаповров В.П., Питак И.В., Шестопалов А.В. // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського.– 2014. В. 3 (86)– с. 25–29.
15. Шаповров В.П. Исследование системы  $YBa_2Cu_3O_7-KCl$  с целью определения условий синтеза нитевидных кристаллов ВТСП / Шаповров В.П., Хитрова И.В. / VIII Всесоюзное совершенствование по физхим. анализу, Саратов, 17–19 сентября 1991 г. Тезисы докладов, ч. 1. Изд. Саратовский университет, г. Саратов, 1991, с. 59.
16. А.С. СССР 1274236 Способ производства волокнистого титаната бария. 01.08.86. Публик. в отк. печати запрещена.
17. А.С. СССР 1649851 Способ выращивания нитевидных кристаллов титанатов щелочных металлов и тугоплавких окислов / В.П. Шаповров, Л.Н. Красникова, Г.А. Ткач (Украина). Заяв. 4618630/31-26(171987) заяв. 13.12.88 публик. в открытой печати запрещена.

18. А.С. СССР 1619756 Устройство для выращивания нитевидных кристаллов / Шаповрев В.П., Ткач Г.А., Хитрова И.В., Погорелов Ю.Н., Красникова Л.А. (Украина) заяв. 4653751/23-26 (028570) заяв. 23.02.89. Публик. в открытой печати запрещена.
19. Исходные данные для проектирования опытно-наработочного производства нитевидных кристаллов диоксидов титана, магния, гексатитана калия ДСП / авт. Л.А. Красникова, В.П. Шаповрев, А.Б. Лищина и др. / разработка кафедры ХТПЭ, ХГПУ, Харьков. 1993. – 30 с.
20. Шаповрев В.П. Использование основных армирующих агентов для пластмасс и керамики [Текст] / В.П. Шаповрев / Экология химической технологии и биотехнологии – 1992. – т. 1, с. 27–32.
21. Заявка 119594 Япония / Оно Наоки, Кита Митчо, Арам Йосиаки, Сахира Такэаки, Мицубиси Киндзоку к.к.– №52 – 277895; заяв. 02.11.87 опубл. 11.05.89 // Кокай токе: Серю 3(1)– 1989– 30– с. 541–543.
22. Патент США 4517048. Метод подавления конвекции при выращивании кристаллов из расплава. заяв. 547175, заявл. 31.10.83, опубл. 14.05.85.
23. Ho.C.I., Viskonta R. Experimental study of melting in a rectangular cavity // Heat. Iranster, 1982. Proc 7ht. Int.conf. Munchen Sept 6–10, 1982 vol. 2, Washington, 1982, p. 369–374.
24. Л.Ю. Артюх. Тепловой режим кристаллизации переохлажденного монорасплава / Артюх Л.Ю., Лукьянов А.Т., Насымбаева С.Е. // Статья депонир. в ВИНТИ 05.07.84 рег. №4730 – 84 Деп.
25. М.Л. Печеный. Метод численного решения многомерной задачи охлаждения и затвердения материала, кристаллизующегося в диапазоне температур / Печёный М.Л. / Статья депонирована в ВИНТИ 26.07.87 рег. №8425 – В.87 Деп.
26. Б.Н. Юдаев. Теплопередача. М.: Высш. школа. 1973. – 359 с.
27. Д.А. Франк-Каменецкий Диффузия и теплопередача в химической кинетике. Изд. «Наука». М.: – 1967. – 491 с.
28. Самарский А.А. Экономическая схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана / Самарский А.А., Моисеенко В.Д. // Журнал вычислительной математики и математической физики, 1965, №3, с. 816–827.
29. Роч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир. 1980 – 616 с.

Bibliography (transliterated)

1. Bafferd A. Sovremennye kompozicionnye materially [A.Bafferd, L. Brautman, R. Gercerberg I dr.] pod red. L. Brautmana, R. Kroka, I.L. Svetlova [per. s angl. G.S. Petelinoj] M.: Mir, 1970. – 672 p.
2. Syrkin V.G. materially budushego. V.G. Syrkin M.: Nauka, 1990. – 192 p.
3. Kompozitnye materialy: spravochnik [Pod redakciej D.M. Karpinosa].–K.: Naukova dumka, 1985.– 592 p.
4. Reeve K.D. New materials development at AHSTO. [K.D. Reeve, D.S. Perera, W.S. Buykx, E.R. Vance]. Mater Austral – 1990 vol. 22, №8. – p. 16–17.
5. Shishelova T.N. Nitevidnye kristally [T.N. Shishelova, N.E. Stepanova, D.A. Polynskaya, D.A. Belyaeva]. Uspehi sovremennogo estestvoznaniya 2009. [URL:www. Rae.ru/use/section=contentsop=show article @article LD=7787444](http://www.Rae.ru/use/section=contentsop=show_article/@article/LD=7787444).
6. Wisker (metallurgy). Wikipedia, the free Encyclopedia – [http://en wikipedia. Org / wiki/whisker \(metallurgy\)](http://en.wikipedia.org/wiki/whisker_(metallurgy)) (дата обращения: 27.06.2010).
7. Mikro I nanomir sovremennyh materialov [Wlektronnyj resurs]. Him.\_fak-t MGU, kaf. Neorganicheskoy himii, laborat. neorg. Materialovedeniya. – 2006. – 69 p. (Rezhim dostupa [http//fmg.inorg.chem.msu.ru](http://fmg.inorg.chem.msu.ru)).
8. Miyazawa K, Synthesis and Properties of Fullerene Nan tubes. J. Nanosci. Nanotechnol. 2009 v. 9. №1 p. 41–50.
9. Patent Ru 2006129236 MPK S.01.G23/00. Sposob polucheniya titanata kaliya. A.V. Gorohovskij (Ru). Zayav. 200612936/15 zayav. 11.08.2006; opubl. 10.06.2008.
10. J.B. Abel, A. Dreyh, C. Sytton. Vyraschivanie iz rasplava i harakteristika monokristallov VTSPUVSO. Physica 1989. p. 162–164 (909).
11. Shaporev V.P. Tehnologiya neorganichnih armuyuchi napovnyuvachiv. Dis. Doktora tehnicnih nauk: 05.17.01. Shaporev Valerij Pavlovich – H.–1995.– 365 p.
12. Shaporev V.P. O vozmozhnosti primeneniya metodov nanohimii dlya analiza i intensifikacii himiko-tehnologicheskikh proces sov. V.P. Shaporev, V.V. Sebko. Vestnik NTU «HPI» – 2012.– №6 (967).– p. 164–176.
13. Shaporev V.P. Tehnologicheskie zakonomernosti proces sov, kotorye lezhat v osnove massovogo proizvodstva viskerov neorganicheskikh tugoplavkih soedinenij. Shaporev V.P.,\_Sebko V.V., Shestopalov A.V. Vestnik NTU «HPI»– 2013.– №27 (1070). – p. 114–141.
14. Shaporev V.P. Tehnologicheskie zakonomernosti proces sov obrazovaniya i rosta nitevidnyh kristallov neorganicheskikh soedinenij i rastvor-raspлавov. Shaporev V.P., Pitak I.V., Shestopalov A.V. Visnik\_Kremenuch'kogo nacional'nogo universitetu im. M. Ostrograds'kogo. – 2014. V. 3 (86) – p. 25–29.

15. Shaporev V.P. Issledovanie sistemi  $YBa_2Cu_3O_7-KCl$  s cel'yu opredeleniya uslovij sinteza nitevidnyh kristallov VTSP. Shaporev V.P., Hitrova I.V. VIII Vsesoyuznoe sovershenstvovanie po fiz-him. analizu, Saratov, 17–19 sentyabrya 1991 g. Tezisy dokladov, ch. 1. Izd. Saratovskij universitet, g. Saratov, 1991, p. 59.
16. A.S. SSSR 1274236 Sposob proizvodstva voloknistogo titanata bariya. 01.08.86. Publik. v otr. pečati zapreschena.
17. A.S. SSSR 1649851 Sposob vyraschivaniya nitevidnyh kristallov titanatov shelochnyh metallov I tugoplavkih okislov. V.P. Shaporev, L.N. Krasnikova, G.A. Tkach (Ukraina). Zayav. 4618630/31-26(171987) zayav. 13.12.88 publik. v otkrytoj pečati zapreschena.
18. A.S. SSSR 1619756 Ustrojstvo dlya vyraschivaniya nitevidnyh kristallov. Shaporev V.P., Tkach G.A., Hitrova I.V., Pogorelov Yu.N., Krasnikova L.A. (Ukraina) zayav. 4653751/23-26 (028570) zayav. 23.02.89. Publik. v otkrytoj pečati zapreschena.
19. Ishodnye dannye dlya proektirovaniya opytно-narabotochnogo proizvodstva nitevidnyh kristallov dioksidov titana, magniya, geksatitana kaliya DSP. avt. L.A. Krasnikova, V.P. Shaporev, A.B. Lischina I dr. razrabotka kafedry HTPW, HGPU, Har'kov. 1993. – 30 p.
20. Shaporev V.P. Ispol'zovanie osnovnyh armiruyuschih agentov dlya plastmass I keramiki [Tekst]. V.P. Shaporev. Wkologiya himicheskoy tehnologii I biotehnologii – 1992. – t. 1, p. 27–32.
21. Zayavka 119594 Yaponiya. Ono Naoki, Kita Mitcho, Aram Josiaki, Sahira Takwaki, Micubisi Kindzoku k.k. – №52 – 277895; zayav. 02.11.87 opubl. 11.05.89. Kokaj toke: Seryu 3(1) – 1989 – 30 – p. 541–543.
22. Patent SShA 4517048. Metod podavleniya konvekcii pri vyraschivanii kristallov iz rastvor-rasplavov. zayav. 547175, zayavl. 31.10.83, opubl. 14.05.85.
23. Ho.C.I., Viskonta R. Experimental study of melting in a rectangular cavity // Heat. Iranster, 1982. Proc 7th. Int.conf. Munchen Sept 6-10, 1982 vol. 2, Washington, 1982, p. 369-374.
24. L.Yu. Artyuh. Teplovoj rezhim kristallizacii pereohlazhdennogo monorasplava. Artyuh L.Yu., Luk'yanov A.T., Nasymbaeva S.E. Stat'ya deponir. v VINITI 05.07.84 reg. №4730 – 84 Dep.
25. M.L. Pechenyj. Metod chislennogo resheniya mnogomernoj zadachi ohlazhdeniya i zatverdeniya materiala, kristallizuyuschegosya v diapazone temperature. Pechyonij M.L. Stat'ya deponirovana v VINITI 26.07.87 reg. №8425 – V.87 Dep.
26. B.N. Yudaev. Teploperedacha. M.: Vyssh. shkola. 1973. – 359 p.
27. D.A. Frank-Kameneckij Diffuziya i teploperedacha v himicheskoy kinetike. Izd. «Nauka». M.:– 1967.– 491 p.
28. Samarskij A.A. Wkonomicheskaya shema skvoznogo scheta dlya mnogomernoj zadachi Stefana. Samarskij A.A., Moiseenko V.D. Zhurnal vychislitel'noj matematiki i matematicheskoy fiziki, 1965, №3, p. 816–827.
29. Rouch P. Vychislitel'naya gidrodinamika. – M.: Mir. 1980 – 616 p.

УДК 548.5

Шаповрев В.П., Шестопалов О.В., Питак І.В.

**ЩОДО ПИТАННЯ ПРО ОРГАНІЗАЦІЮ ПОТОКОВОГО ВИРОБНИЦТВА НИТКОПОДІБНИХ КРИСТАЛІВ ТУГОПЛАВКИХ НЕОРГАНІЧНИХ СПОЛУК МЕТОДОМ КРИСТАЛІЗАЦІЇ З РОЗЧИН-РОЗПЛАВІВ НА ОСНОВІ ГАЛОЇДІВ ЛУЖНИХ МЕТАЛІВ**

У статті представлений новий технологічний процес отримання ниткоподібних кристалів тугоплавких неорганічних сполук шляхом кристалізації з розчин-розплавів галоїдів лужних металів, а також конструкція реакторної установки для реалізації процесу. Технологічний процес передбачає наявність чотирьох послідовно з'єднаних температурних зон, в яких підтримується заданий температурний градієнт.

Shaporev V.P., Shestopalov A.V., Pitak I.V.

**THE ORGANIZATION OF ASSEMBLY-LINE PRODUCTION OF WHISKERS REFRACTORY INORGANIC COMPOUNDS BY CRYSTALLIZATION FROM SOLUTION-MELTS BASED ON ALKALI METAL HALIDES.**

This paper presents a new process for producing whiskers refractory inorganic compounds by crystallization from a molten solution of alkali metal halides, as well as the design of the reactor facility to the process. The technological process provides for four series-connected temperature zones that support a given temperature gradient.

Фик І.М., Хакар Махмоод Б.М., Топоров В.Г.

**СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ОБ'ЄМІВ ВИДОБУТКУ ГАЗУ З РОДОВИЩ НА ЗАВЕРШАЛЬНІЙ СТАДІЇ ЇХ РОЗРОБКИ**

На початок 21 сторіччя Україна опинилася в енергетичній залежності як від внутрішніх чинників, оскільки останнім часом в енергозберігаючі технології гроші не вкладались, так і від зовнішніх чинників, оскільки відсутність диверсифікованих шляхів постачання газу в країну дала можливість країні-монополісту диктувати загрозливу цінову політику. Звісно, що для країни, в енергетичному балансі якої частка енергії, яку отримують за рахунок використання природного газу, перевищує 50 %, така залежність сприяє розвитку кризових ситуацій в економіці.

Як шлях вирішення, ми могли б збільшити використання вугілля, але це болісно вдарить по екології регіонів і викличе обурення Європейської екологічної комісії. Саме тому, разом із поступовим введенням енергозберігаючих технологій в життєвий цикл як побутових, так і промислових споживачів, держава ставить конкретну задачу збільшення видобувних можливостей компаній-розробників. Насамперед це:

- розробка шельфу в акваторії Чорного і Азовського морів;
- розвідка і розробка сланцевих родовищ країни;
- пошук і розробка нових газових і газоконденсатних родовищ в державі;
- вихід на міжнародний ринок українських компаній-розробників.

Разом із тим, оскільки Україна, в першу чергу, є транзитною державою, перед компанією, що транспортує експортний газ, ставляться нагальні задачі:

- скоротити розбаланс газу під час транспортування газу газотранспортною системою України за рахунок зменшення витоків газу через негерметичність обладнання;
- модернізувати існуючу газотранспортну систему України;
- диверсифікувати шляхи поступлення газу до країни шляхом спорудження термінальних станцій для приймання зрідженого газу;
- забезпечити якісне функціонування підземних сховищ газу;
- підвищити якість природного газу власного видобутку, що подається на експорт.

До реалізації всіх перелічених заходів долучено фахівців профільних наукових інституцій, зокрема Український науково-дослідний інститут природних газів, інститут транспорту газу, нафти, дослідні лабораторії тощо. Але впровадження заходів, що мають за мету зменшити енергетичну залежність нашої держави, потребує, по-перше, часу, по-друге, значних інвестицій. Ні того, ні іншого в достатній кількості немає, і саме тому здійснення таких проєктів є довготривалим, хоча у майбутньому, однозначно, ефективним.

Власне, керуючись вищесказаним, провідні фахівці УкрНДІгазу рекомендували фахівцям газовидобувних підприємств звернути увагу на використання потенціальної енергії пласта діючих родовищ України, адже впровадження сучасних інноваційних технологій для їх подальшої розробки є значно дешевшим, ніж реалізація довготривалих проєктів, а додатковий приріст у видобутку вуглеводнів досягається в найближчі роки, і навіть місяці.

Ми пропонуємо вам ознайомитись із результати наших розробок, викладених в працях [1-6], на прикладі найбільш потужного родовища України – Шебелинського газоконденсатного родовища, розглянувши спочатку фізику пласта родовища і ув'язавши в подальшому режим його розробки з модернізацією обладнання наземної частини родовища.

Шебелинське ГКР було відкрито у 1950 р. і введено в промислову розробку у 1956 р. з подачею газу на найбільший промисловий регіон Східної України – м. Харків (рис. 1).

Родовище приурочено до крупної брахіантиклінальної складки заввишки 1,16 км, є масивно-пластовим покладом із чисельними тектонічними порушеннями, єдиним початковим газоводяним контактом на абсолютній позначці -2270 м, із площею газоносності 232 км<sup>2</sup>, початковими і поточними пластовими тисками 23,8 і 2,36 МПа відповідно.

Характерною геолого-промисловою особливістю Шебелинського ГКР є широкий діапазон змін колекторських властивостей газонасичених порід по площі перерізу (проникність від 0,1 до 100 мД), що зумовило нерівномірність відпрацювання покладу як за пластовим тиском, так і за дебітом свердловин в просторі і часі.

Враховуючи висоту покладу, літологічно-стратиграфічну розчленованість, значне перевищення початкового пластового тиску над гідростатичним (у покрівлі покладу), виділено III експлуатаційні об'єкти НАГ ( $P_1^{nt}$ ), СМП ( $P_1^{kt}$ ), АСК ( $C_3^3$ ).

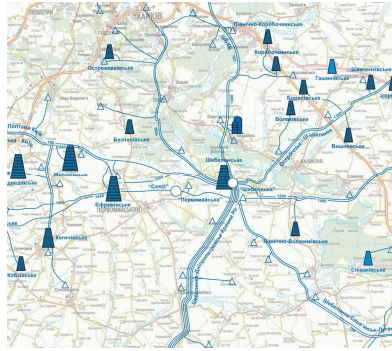


Рисунок 1 – Розміщення Шебелинського ГКР на фізичній мапі України

Після закінчення експлуатаційного розбурювання родовища (80-ті роки минулого сторіччя) з метою підтримання видобутку газу в багатьох свердловинах здійснили достріли вищезалегаючих горизонтів і продовжили експлуатацію вже двох-трьох об'єктів. За своєю суттю, сьогодні центральну частину Шебелинського родовища слід розглядати як єдиний експлуатаційний об'єкт.

Щодо початкових запасів газу Шебелинського ГКР, то слід зауважити, що їх величина постійно збільшувалася, так в 1959 затверджено запаси 400 млрд. м<sup>3</sup>, в 1963 – 466 млрд. м<sup>3</sup>, а вже в матеріалах 1987 р. фігурувала встановлена величина початкових запасів у кондиційних і некондиційних колекторах в межах 705,1-744 млрд. м<sup>3</sup>, яка близька до сьогоденної, підтверджена розробкою і прийнята УкрНДІгазом (715,45 млрд. м<sup>3</sup>) для прогнозу показників подальшої розробки родовища.

Для визначення перспектив подальшого видобутку газу з родовища, оцінки надійності залишкових запасів, їх концентрації в покладах і прогнозу показників розробки необхідно розглянути деякі процеси, пов'язані з фізикою пласта газоконденсатного покладу в умовах падіння пластового тиску, до яких віднесемо:

- обводнення газоносних колекторів пластовими водами (зовнішній та внутрішній водонапірні режими);
- вплив падіння пластового тиску на фізичні властивості порід і пластових флюїдів;
- вплив початкових градієнтів пластового тиску на величину запасів і процес розробки родовища.

Контроль за обводненням продуктивних горизонтів Шебелинського ГКР здійснюють із 1971 р., регулярно за даними промислових геофізичних досліджень, промисловими даними та даними моделювання залишкової газонасиченості в зонах обводнення пластів. На рисунку 2 показано розміщення обводнених зон Шебелинського родовища.

Якщо сумарний об'єм обводнених горизонтів у 1989 р. становив 40,6 млн м<sup>3</sup> води, то вже за понад 20 років – 80 млн м<sup>3</sup> [1], тобто у поклади увійшло всього 40 млн м<sup>3</sup> під час пониження робочого тиску від 12 до 2,5 МПа.

Аналіз обводнення Шебелинського родовища показав, що:

- загального підняття газоводяного контакту на родовищі не спостерігається, обводнення пластовими водами носить вибірковий характер;
- пружноводонапірний режим проявляється в окремих горизонтах із хорошими колекторними властивостями та обмеженими водонапірними системами.

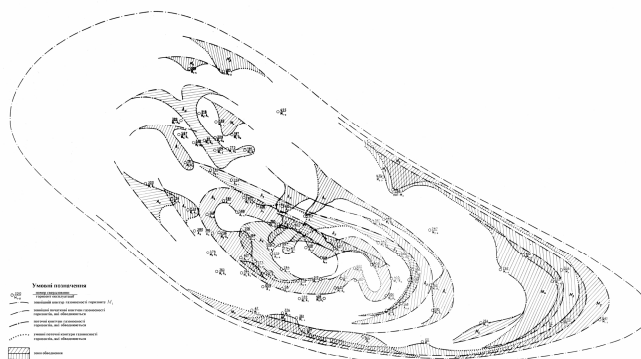


Рисунок 2 – Схема обводнення продуктивних горизонтів Шебелинського родовища

При цьому похибка підрахунку запасів за падінням пластового тиску за рахунок зовнішнього вторгнення пластових вод не перевищує 0,5 %, а об'єм газу, защемленого в обводнених зонах складає до 2 % від початкових запасів.

Наступним чинником, що впливає на розробку родовища, є об'ємна пружність залишкової води і породи-колектора. Так, за оцінкою [1], під час падіння пластового тиску на 20 МПа об'єм залишкової води збільшився на 11 млн м<sup>3</sup>. До того ж, оскільки територія поверхні по площі Шебелинського родовища просіла в середньому на 0,5 м, то цілком зрозуміло, що цей процес пов'язано із розробкою газових покладів і пониженням пластового тиску. Якщо площа родовища становить 232x10<sup>6</sup> м<sup>2</sup>, то об'єм пор газонасичених колекторів зменшився на 116x10<sup>6</sup> м<sup>3</sup> за рахунок пружного зменшення порового простору колекторів, що складає 4 % від початкового газонасиченого об'єму колектора (2,904x10<sup>9</sup> м<sup>3</sup>).

У цілому із врахуванням обводнення, внутрішнього пружноводонапірного режиму, об'ємної пружності залишкової води та гірських порід газонасичений поровий об'єм колекторів зменшився на 207 млн м<sup>3</sup>. Таким чином, виходячи з того, що початковий об'єм пор газонасичених колекторів складає 2,904x10<sup>9</sup> м<sup>3</sup>, сумарне зменшення газонасиченого порового об'єму колекторів та неколекторів від початкового становить 7,1 %, що суттєвого впливу на розробку родовища не має.

На рисунку 3 наведено графік залежності середнього приведенного пластового тиску від об'єму видобутого газу. Візуальна екстраполяція кривої видобутку P/Z (Q) вказує на можливість наявності запасів газу в об'ємах 712–760 млрд. м<sup>3</sup>.

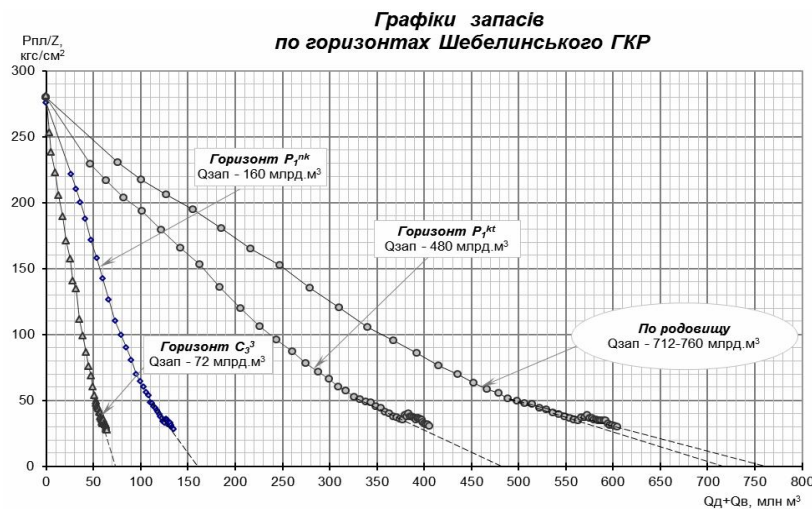


Рисунок 3 – Графік залежності приведенного пластового тиску від об'єму видобутого газу

Обсяги фактичного видобутку газу за останні роки експлуатації родовища перевищували проектні, а додатковий видобуток газу за період 2003–2009 становив 5,7 млрд. м<sup>3</sup>. На рисунку 4 представлено динаміку річних відборів газу та пластового тиску за період 1980–2009 рр., на якій яскраво простежуються 3 характерні періоди розробки родовища:

- 1980–1991 рр. – період активної розробки з різким падінням, як пластового тиску, так і обсягів видобутку газу;
- 1992–2003 рр. – період зменшення темпу падіння видобутку газу і пластового тиску;
- 2003–2009 рр. – період підвищення видобутку газу і його стабілізації під час незначного падіння пластового тиску.

Аналіз процесів видобування газу і пластових тисків показує, що найбільш ефективним з точки зору використання пластової енергії був другий «стабілізаційний» період коли середній об'єм видобутого газу на 1 атмосферу падіння пластового тиску становив близько 12 млрд. м<sup>3</sup>, а в період з 1999 по 2001 р. родовище взагалі вийшло на стабільний видобуток газу в об'ємі близько 2 млрд. м<sup>3</sup>/рік із практично стабільним пластовим тиском на рівні 3,3 МПа.

Після зниження робочих тисків із 1,75 до 1,3 МПа пластовий тиск до 2009 р. знизився на 0,5 МПа, при чому середній об'єм видобутого газу на 1 атмосферу падіння пластового тиску становив близько 3 млрд. м<sup>3</sup>. Очевидно, що період активної розробки родовища на виснаження до 1992 р. створив передумови для активізації початкових градієнтів пластового тиску та залучення в розробку низькопроникних (так званих некондиційних) колекторів, що забезпечило як зростання початкових запасів газу, так і стабілізацію видобутку впродовж наступних років.

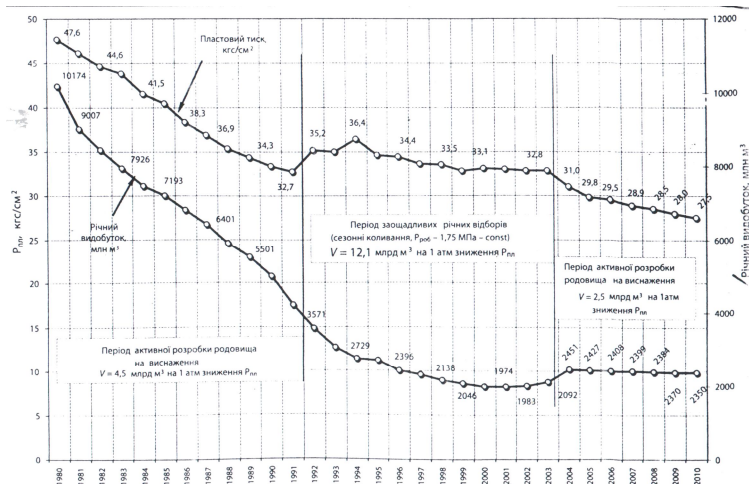


Рисунок 4 – Динаміка річних відборів газу та пластового тиску в період 1980–2009 рр.

Таким чином, із аналізу розробки, фізики пласта, класичного підрахунку запасів за падінням пластового тиску та математичного моделювання перспектив розробки, автори роблять висновок, що Шебелинське родовище вступило в завершальну стадію розробки, що характеризуватиметься довгостроковою стабілізацією видобутку газу.

Але для стабілізації видобутку газу в найближчі роки, слід забезпечити умови поступового зниження пластового тиску щорічно в межах 0,05–0,1 МПа. Звідси випливає логічне завдання пошуку резерву зниження робочого тиску свердловин родовища. Чим більше буде діапазон зменшення робочого тиску родовища (резерв), тим відповідно або подовжиться довший період стабілізації, або прироститься щорічний обсяг видобутку газу.

Пошук шляхів зниження величини робочого тиску свердловин відстежемо за візуальним представленням об'єктів наземної частини родовища (рисунок 5).

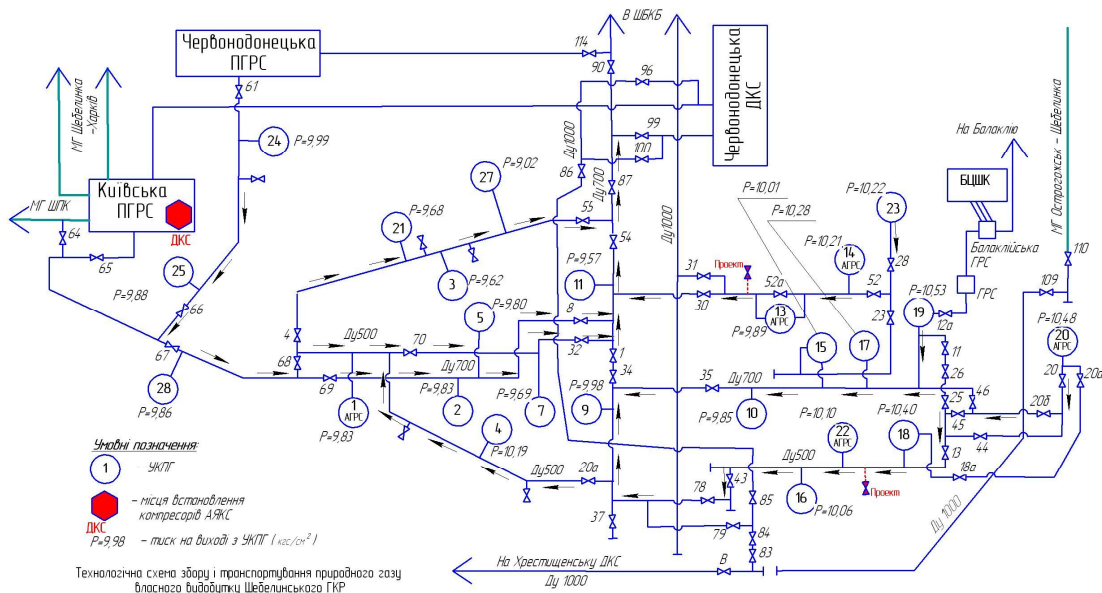


Рисунок 5 – Технологічна схема об'єктів наземної частини родовища

На перший погляд схема збору і транспортування попри велику кількість об'єктів є доволі простою: газ кожної окремої групи свердловин із загального парку у 500 одиниць збирається на установках підготовки газу, звідки після комплексної підготовки поступає в систему кільцевого газозбірного колектора і далі основним газопроводом ДН700 на компримування на ДКС. Але слід згадати, що родовище експлуатується з 1956 р., а коштів на модернізацію за часи незалежності України виділялось обмаль, а отже:

– газозбірна система залишилась обладнаною нерівнопрохідною арматурою;

- в порожнині газозбірних колекторів локалізувалась рідина;
  - обладнання старої запірної арматури повсякчас виходять з ладу;
- і головне:
- основний газозбірний пункт, було обладнано старими газомотокомпресорними машинами, що не дозволяло без зменшення обсягів перекачування зменшити вхідний тиск за 0,8 МПа;
  - втрати тиску в місцевих опорах і за рахунок наявності рідини сягали 0,35–0,4 МПа.
- Саме у скороченні втрат тиску на транспортування і зменшенні вхідного тиску на ДКС лежав пошук резерву зменшення робочого тиску свердловин, що передбачало наступне:
- 1 Модернізація дотискувальної компресорної станції.
  - 2 Перепланування газових потоків в газозбірній системі.
  - 3 Скорочення втрат тиску газу під час транспортування.
- Тепер окремо по кожному заходу.

1 Перед прийняттям рішення щодо модернізації існуючої ДКС проведено масштабне дослідження та математичне моделювання поведінки системи «гирло свердловини – УКПГ – ДКС» в умовах зниження робочого тиску, результати якого лягли в розрахунок економічного ефекту від впровадження того чи іншого варіанту подальшої розробки родовища[5]. Відомо, що втрати тиску від гирла свердловини до входу в ДКС складаються з низки ланок, до яких відносять втрати в шлейфі свердловини, в об'язці УКПГ, системі газопроводів та вхідному обладнанні ДКС. Отже на перший погляд, чим ближче розмістити компресорне обладнання від гирла свердловини, тим менше буде показник втрат, відповідно більший резерв робочого тиску свердловин, а отже і значно більший загальний обсяг видобутого газу. На разі математичне моделювання, результати якого стали вихідними даними до розрахунку окупності проекту, висвітлює такі результати (таблиця 1).

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика результатів впровадження окремих варіантів подальшої розробки родовища

Роки// Показники роз- робки	Варіант I – базовий (без змін)		Варіант II – прийнятий (модернізація ДКС)		Варіант III – змодельований (розміщення малих ДКС якомога ближче до сврд.)	
	Обсяг видо- бутку, млн м <sup>3</sup>	Робочий тиск сврд., МПа	Обсяг видо- бутку, млн м <sup>3</sup>	Робочий тиск сврд., МПа	Обсяг видо- бутку, млн м <sup>3</sup>	Робочий тиск сврд., МПа
2010	2384,0	1,06	2384,0	1,06	2384,0	1,06
2011	2372,8	0,99	2372,8	0,99	4756,8	0,99
2012	2125,5	1,08	2295,0	0,95	7051,8	0,95
2013	2038,2	1,07	2318,7	0,83	9253,1	0,93
2014	1958,3	1,05	2337,7	0,70	11366,7	0,90
2015	1877,5	1,04	2301,0	0,61	13389,2	0,88
2016	1799,3	1,04	2200,4	0,61	15423,3	0,79
2017	1709,5	1,03	2094,9	0,61	17422,2	0,73
2018	1637,9	1,03	2004,3	0,60	19417,5	0,64
2019	1563,3	1,03	1922,8	0,60	21393,5	0,57
2020	1491,7	1,02	1847,4	0,59	23338,4	0,51
2021	1427,7	1,02	1763,0	0,59	25207,3	0,49
2022	1362,5	1,02	1698,0	0,57	26994,0	0,49
2023	1300,0	1,02	1633,7	0,56	28705,8	0,49
2024	1234,5	1,01	1573,7	0,55	30349,1	0,49
2025	1192,6	1,01	1505,1	0,55	31922,1	0,48
2026	1137,2	1,01	1447,8	0,55	33428,8	0,48
2027	1086,6	1,01	1390,0	0,55	34877,0	0,48
2028	1046,9	1,01	1342,5	0,54	36269,2	0,48
2029	998,8	1,01	1286,6	0,54	37603,5	0,48
2030	953,8	1,00	1234,5	0,54	38884,0	0,48
Обсяг видобутку газу, млн м <sup>3</sup>	32698,6		38953,9		38884,0	
Орієнтовний об- сяг вкладень, млн \$	37,2		128,15		152,06	
Окупність, роки	1		3		3	

Чим же пояснюється, що розміщення перекачувального обладнання на груповому пункті збору газу забезпечує на перспективу до 2030 р. більший накопичений обсяг видобутку газу при термін окупності проекту



однакової тривалості. Звісно по-перше це час введення в експлуатацію, адже глобально реконструювати один об'єкт набагато скоріше, аніж вводити велику кількість малогабаритних ДКС по родовищу, по друге – це впровадження низки заходів по скороченню різниці між вхідним тиском на ДКС та тиском на гирлі кожної конкретної свердловини, саме про це піде мова нижче.

2. Рішення трьох основних рівнянь газової динаміки: руху, нерозривності і стану, говорить про те, що: хочеш скоротити втрати тиску між двома точками системи, то або підвищ робочий тиск, або скороти навантаження, або зменш втрати в місцевих опорах.

Підвищити тиск звісно змоги не має, адже мова йде про пошук резерву по робочому тиску свердловин, отже спробуємо спочатку скоротити навантаження.

Оскільки увесь видобутий газ родовища проходив перед компримуванням на ДКС останню ланку газозбірної системи: основний газозбірний колектор невеликого діаметру, то саме тут спостерігалися найбільші втрати тиску, і найвищі швидкості газу, результат моделювання зміни яких в часі свідчив про досягнення критичних величин вже у 2014 р. Саме на вирішення цих проблем направлений наступний захід. Великим плюсом України є розгалужена газотранспортна система, яка здатна прийняти досить великі обсяги газу власного видобутку. За пункт передачі газу обрано Київську ППРС, встановивши та ввівши в експлуатацію компресорне обладнання на якій, розробники вирішили одразу дві проблеми:

- скоротили втрати тиску в основному газозбірному колекторі на найбільш завантаженій його ділянці;
- зменшили величину лінійної швидкості газу в умовах низького робочого тиску (поглянемо на таблицю 2).

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика показників роботи родовища

Показник	Величина показника до впровадження заходу	Величина показника після впровадження заходу
Загальне завантаження кінцевої ланки основного газозбірного колектора (змодельоване станом на 2014 р.), тис.м <sup>3</sup> /доба	6405	5550
Загальні втрати тиску газу в кінцевій ланці основного газозбірного колектора (змодельовані станом на 2014 р.), МПа	0,159	0,104
Резерв у величині робочого тиску свердловин (усереднений станом на 2014 р.), МПа	–	0,05
Додатковий обсяг видобутку газу, млн м <sup>3</sup> /рік	–	155,3
Величина лінійної швидкості газу на вході в обладнання ДКС, м/с	24,983	19,69

Слід зауважити, що окупність такого проекту завдяки прискоренню процесу введення в експлуатацію нового об'єкта склала лише 3 роки [5].

3. Найбільш складним або скоріше об'ємним завданням перед розробниками постав аналіз та скорочення втрат тиску на транспортування газу від гирла свердловини до входу в ДКС, адже як вже згадувалось, газ перекачується по трубопроводах (промислових та технологічних), що експлуатують вже понад півстоліття. З метою оцінки величини скорочення втрат тиску газу на транспортування введено поняття коефіцієнту пропускної здатності системи, як функції відгуку на сумарний гідравлічний опір об'єктів системи:

$$K = f(\lambda)$$

Оскільки ми приймаємо, що система працюють в квазістаціонарному режимі, то параметри, що відповідають технічній характеристиці, компонентному складу газової суміші та температурному режиму приймаємо умовно постійними і спрощуємо формулу до такого вигляду:

$$P_{нач}^2 - P_{кон}^2 = K \cdot q^2,$$

де  $q$  – пропускна здатність газопроводу при стандартних умовах, млн.м<sup>3</sup>/добу;  $P_{поч}$ ,  $P_{кін}$  – тиск відповідно на початку та в кінці газопроводу, МПа.

Нормальній роботі системи мало б відповідати якась певне теоретичне значення коефіцієнту пропускної здатності  $K_{теор}$ , а всі дійсні показники, отримані під час експериментальних досліджень, що переви-

щують це значення мають відповідати проблемним характеристикам системи, та передбачати вжиття заходів по нівелюванню негативного прояву.

Для більш яскравого і чіткого простеження сфери втручання для аналізу проблемних ділянок газозбірної системи виконаємо побудову графічного розподілу дійсних коефіцієнтів пропускної здатності в околі теоретичного значення, що прийнятого за нормове (рис. 6).

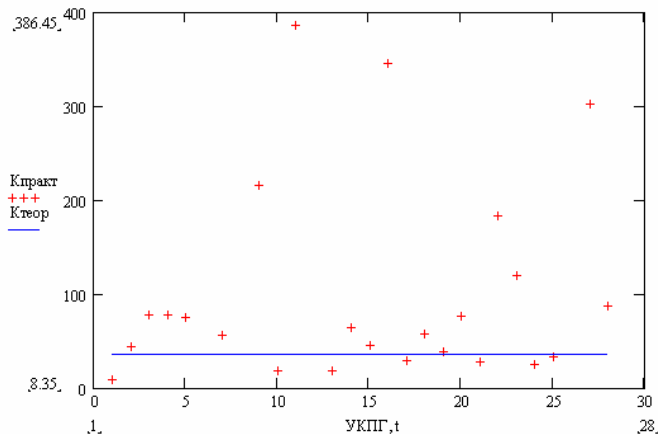


Рисунок 6 – Значення коефіцієнтів пропускної здатності в околі середнього значення

Як видно з рисунку 6 більшість значень для систем обладнаних «старим» обладнанням, яке характеризує наявність нерівнопрохідної арматури, спрацьованість обладнання сепараторів, наявність глинистих відкладів, знаходиться в зоні, що значно перевищує показники ефективної експлуатації. Переконаємось в справедливості твердження розглянувши дійсні значення втрат та змодельовані теоретичні, що відповідають оптимальній роботі системи, розглянувши, таблицю 3.

Таблиця 3 – Систематизація даних по режимам роботи окремих зон родовища

Зона обслуговування	Основний здійснюваний процес	Величина вимірених втрат тиску, кгс/см <sup>2</sup>	Величина втрат тиску, що відповідає ефективній роботі зони, кгс/см <sup>2</sup>	Величина втрат тиску, на яку можна знизити робочий тиск на гирлі «середньої свердловини родовища», кгс/см <sup>2</sup>
Зона I - шлейф	Транспортування газу від гирла свердловини до блоку вхідних ниток	0,525	0,525*	0
Зона II – установка підготовки газу	Попередня підготовка газу, технологічний замір	0,165	0,167	0
Зона III – газопровід підключення	Транспортування газу до газозбірного колектора	0,095	0,075	0,02
Зона IV – газозбірна система	Транспортування газу системою газозбірних колекторів	1,57	1,138	0,432
Зона V – установка комплексної підготовки газу (УКПГ, ДКС, ПГРС)	Комплексна підготовка газу, компримування, комерційний замір	0,6	$2,754 \cdot 10^{-4}$	0,5997
Зона VI – газопровід-відвід	Транспортування газу від пункту передачі до системи МГ	0**	0	0
Загальні показники		2,955	1,9053	<b>1,0517</b>
* Внаслідок постійного перерозподілу мас рідини в шлейфах свердловин величина є непостійною і її вплив не досліджувався				
** – для родовища, що розглядається, втрати тиску в газопроводі-відводі не чинять впливу на роботу системи				

Таблиця 4 – Порівняльна характеристика показників роботи родовища

Показник	Величина показника до впровадження заходу	Величина показника після впровадження заходу
Загальні втрати тиску газу в системі (змодельовані станом на 2014 р.), МПа	0,301	0,194
Резерв по робочому тиску свердловин (усереднений станом на 2014 р.), МПа	–	0,107
Загальний додатковий видобуток газу, млн м <sup>3</sup>	–	1504
Очікуваний річний додатковий видобуток газу, млн м <sup>3</sup> /рік	–	Близько 150

Отже, впровадивши доволі прості заходи по переобладнанню відповідних проблемних зон системи «устя свердловини родовища – ДКС», ми досягнемо скорочення втрат тиску на 0,107 МПа. Чимале скорочення в умовах того, що тиск на гирлі свердловин ледь сягає 1,0 МПа. Поглянемо на дані таблиці 4 щодо обсягів додаткового видобутку газу, змодельованого на найближчі 10 років.

### Висновки

В представленій роботі автори ознайомили зацікавлених фахівців із станом розробки найбільшого родовища України, характерного тим, що воно є класичним прикладом родовища, що знаходиться на завершальній стадії експлуатації, а його роботу визначають низькі величини робочого тиску свердловин та падіння пластового тиску. В умовах того, що світові родовища рано чи пізно наблизяться до аналогічних етапів в експлуатації, а їх розробники зіштовхнуться з аналогічними проблемами, цей матеріал слугуватиме їм гарним прикладом створення шляхів до вирішення майбутніх проблемних питань.

З іншого боку перед фахівцями УкрНДІгазу та розробниками родовищ стоїть ще велика кількість питань, що слід вирішити, адже під час експериментальних польових досліджень автори спостерігали, що в умовах зниження вхідного тиску на ДКС, тиск на гирлі свердловин падає не синхронно по всіх свердловинах вниз, на що може впливати гідравліка шлейфу. Отже спеціалісти задіяні на дослідженні і нівелюванні впливу накопичень в порожнині шлейфів. Також слід визначитись із необхідністю відновлення експлуатаційних свердловин, інтенсифікації в умовах низького робочого тиску, заміни насосно-компресорних труб, роботи в затрубному просторі. А у випадку необхідності перебудування експлуатаційного фонду свердловин, враховуючи перспективу подальшого нарощування залишкових запасів газу родовища, слід розробити та підібрати наявні способи і технології та провести дослідне буріння свердловин в умовах наднизьких пластових тисків, уточнити зони та об'єми обводнення, а також об'єми газу, защемленого в таких зонах, оцінити можливість перетікань з глибинних горизонтів в зону розробки родовища тощо. Всі ці перелічені заходи неможливі без отримання як вітчизняного, так і закордонного досвіду сучасних методів та технологій розробки родовищ.

### Література

1. Ю.Л. Фесенко, Є.О. Волосник, І.М. Фик Стан і перспективи розробки Шебелинського газоконденсатного родовища – Нафтова і газова промисловість № 5–6, Харків, 2009, с. 24–28.
2. Є.І. Крижанівський, Р.М. Кондрат, І.М. Фик Енергетична безпека держави: високоефективні технології видобування, постачання та використання природного газу – К.: «Інтерпрес ЛТД», 2006. – 281 с.
3. І.І. Капцов, С.О. Саприкін, В.Є. Співак, М.І. Братах Зниження втрат тиску в системі газопроводів як один із чинників збільшення обсягів видобутку газу на родовищах – Нафтова і газова промисловість №2, Харків, 2009, с. 58–60.
4. І.Й. Рибчин, Б.Б. Синюк, В.В. Дячук, В.М. Бенько та інш. Нарощування ресурсної бази ДК «УкрГазвидобування» НАК «Нафтогаз України» (1998–2008 рр.) і приріст промислових запасів – основа стабілізації видобутку газу і конденсату в Україні – Питання розвитку газової промисловості України – Збірник Наукових праць УкрНДІгаз – Харків – 2009, с. 7–13.
5. Дячук В.В., Братах М.І., Капцов І.І. Оптимізація шляхів розробки Шебелинського ГКР на завершальній стадії – Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова енергетика: проблеми і перспективи» – Івано-Франківськ (20–23 жовтня), 2009 р.
6. Кривуля С.В., Фик М.І., Камалов К національному проекту розвитку нанотехнологій в добыче природного газу – «нанокроты-шахтеры» – Питання розвитку газової промисловості України – Збірник Наукових праць УкрНДІгаз – Харків – 2011, с. 7–14.

### Bibliography (transliterated)

1. Yu.L. Fesenko, E.O. Volosnik, I.M. Fik Stan i perspektivi rozrobki Shebelinskogo gazokondensatnogo rodovischa – Naftova i gazova promislovist # 5–6, Harkiv, 2009, P. 24–28.
2. E.I. KrizhanIvskiy, R.M. Kondrat, I.M. Fik Energetichna bezpeka derzhavi: visokoefektivni tehnologiyi vidobuvannya, postachannya ta vikoristannya prirodnoho gazu – K.: «Interpres LTD», 2006. – 281 p.
3. I.I. Kaptsov, S.O. Saprikin, V.E. Spivak, M.I. Bratah Znizhennya vtrat tisku v sistemi gazoprovodiv yak odin iz chinnikov zbilshennya obsyagiv vidobutku gazu na rodovischah – Naftova i gazova promislovist #2, Harkiv, 2009, p. 58–60.
4. I.Y. Ribchin, B.B. Sinyuk, V.V. Dyachuk, V.M. Benko ta insh. Naroschuvannya resursnoyi bazi DK «Ukr gazvidobuvannya» NAK «Naftogaz Ukraini» (1998–2008 rr.) i pririst promislovih zapasiv – osnova stabilizatsiyi vidobutku gazu i kondensatu v Ukraini – Pitannya rozvitku gazovoyi promislovosti Ukraini – Zbirnik Naukovih prats Ukr-NDIgaz – Harkiv – 2009, P. 7–13.
5. Dyachuk V.V., Bratah M.I., Kaptsov I.I. Optimizatsiya shlyahiv dorozrobki Shebelinskogo GKR na zavershalniy stadiyi – Materiali mizhnarodnoyi naukovu-tehnichnoyi konferentsiyi «Naftogazova energetika: problemi i perspektivi» – Ivano-Frankivsk (20–23 zhovtnya), 2009 r.
6. Krivulya S.V., Fik M.I., Kamalov K natsionalnomu proektu razvitiya nanotehnologiy v dobyiche prirodnoho gazu – «nanokrotiyi-shahteryi» – Pitannya rozvitku gazovoyi promislovosti Ukraini – Zbirnik Naukovih prats UkrNDIgaz – Harkiv – 2011, P. 7–14.

УДК 622.691.4

Фык И.М., Хакар Махмоод Б.М., Топоров В.Г.

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ОБЪЕМОВ ДОБЫЧИ ГАЗА  
ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ЗАВЕРШАЮЩЕЙ СТАДИИ ИХ РАЗРАБОТКИ**

На основе проведенного анализа разработки Шебелинского месторождения, классического подсчета запасов по падению пластового давления и математического моделирования перспектив разработки, авторы делают вывод, что месторождение вступило в завершающую стадию разработки, для которой будет характерна долгосрочная стабилизация добычи газа. Рассмотрена существующая система сбора, компримирования и транспортирования газа, отмечены ее недостатки. Показано, что с целью сокращения потерь давления в системе сбора газа следует устранить проблемные зоны на пути газа от устья скважин до ДКС.

Fyk I.M., Nakar Mahmood B.M., Toporov V. G.

**SYSTEM ANALYSIS OF THE GAS PRODUCTION DYNAMICS  
FROM THE FIELDS IN THE FINAL STAGES OF THEIR DEVELOPMENT**

Based on the analysis of development Shebelynskiy field, of the classical reserves to fall reservoir pressure calculation and mathematical modeling of prospects for the development, the authors conclude that the field has entered on the final stage of development, which will be characterized by long-term stabilization of gas production. Existing gas gathering, transportation and compression systems are considered, marked their shortcomings. It is shown that in order to reduce pressure losses in the gas gathering system should eliminate the problem areas in the gas path from the wellheads to the booster compressor station.

**РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ И ИХ ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

**Введение.** Для решения целого ряда задач проектирования, эксплуатации, управления функционированием электрических систем необходимы детальные исследования режимов их работы – стационарных симметричных и несимметричных, переходных электромагнитных и электромеханических, кратковременных и длительных, аварийных и эксплуатационных. Причем с развитием электрических систем и изменением условий их эксплуатации (изменение структуры, появление новых элементов и устройств, старение оборудования, совершенствование средств управления, развитие рыночных отношений), требования к точности, адекватности, возможностям моделей возрастают. В стационарных режимах необходима точность, позволяющая проверять их на соответствие параметров режима требованиям к качеству электроэнергии, в переходных режимах для обеспечения адекватного моделирования необходимо воспроизводить как электромагнитные, так и электромеханические составляющие переходных процессов, с учетом несимметрии как исходного режима, так и несимметричных коммутаций в ходе переходных процессов.

**Анализ публикаций.** Развитие средств математического моделирования режимов работы электрических систем для повышения их точности и расширения круга решаемых задач принципиально возможно на основе перехода к математическим моделям, использующим уравнения в фазных координатах. Модели в фазных координатах как отдельных элементов, так и систем различной степени сложности, имеют не только большую универсальность, но и более широкие возможности развития. Переход к моделям, основанным на уравнениях в фазных координатах, позволяет создать более полные и более общие модели, ориентированные не на конкретные расчетные схемы, а на широкий класс задач и энергетических объектов.

Однако переход к моделированию переходных процессов на основе уравнений в фазных координатах сдерживается целым рядом факторов: при наличии индуктивных и емкостных элементов уравнения переходных процессов являются интегро-дифференциальными, порядок систем решаемых уравнений по сравнению с уравнениями для однофазных эквивалентов повышается, усложняется алгоритмизация процедур их составления и решения. Поэтому электрическая сеть в ряде работ представляется упрощенно – либо эквивалентными, либо типовыми расчетными схемами, для которых система дифференциальных уравнений предполагается заданной [1,2]. Так, в [2] сеть представлена упрощенной расчетной схемой – выделены две группы емкостей фаз системы относительно земли: емкость всех присоединений в конце защищаемой линии, включая емкость самой линии, и емкость всех присоединений к шинам 6–35 кВ узла нагрузки.

Математическая модель системы содержит дифференциальные уравнения баланса напряжений в электрических контурах схемы сети и уравнения баланса токов в узлах подключения емкостей. Использование смешанного координатного базиса (включение в модель узловых и контурных уравнений) усложняет ее алгоритмизацию и программную реализацию и, кроме того, вопрос о том, насколько допустима при моделировании переходных процессов замена реальной схемы электрической сети принятой упрощенной, требует исследования.

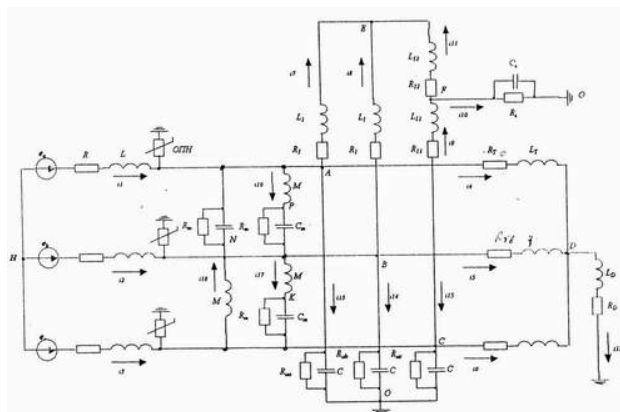


Рисунок 1 – Эквивалентная схема замещения сети

**Основная часть.** В стационарных режимах процедура перехода от исходной схемы и соответствующей ей системы уравнений к эквивалентной меньшего порядка имеет строгое обоснование и основана на том, что выполняется исключение тех переменных, которые не представляют интереса для решаемой задачи.

В этом случае в схеме электрической сети при расчетах, например, токов КЗ можно выделить две подсхемы:

- расчетную, содержащую все расчетные точки КЗ и элементы, в которых должны быть определены токи и напряжения;
- внешнюю, содержащую все остальные элементы сети.

Эквивалентирование внешней электрической сети может быть реализовано на основе узловых уравнений следующим образом. Составить узловые уравнения для электрической сети (1), причем нумерацию узлов сети выполнить так, чтобы сначала были пронумерованы, например, все узлы первой подсхемы, а затем – все узлы второй подсхемы.

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1k} & Y_{1l} & Y_{1m} & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2k} & Y_{2l} & Y_{2m} & Y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{k1} & Y_{k2} & \dots & Y_{kk} & Y_{kl} & Y_{km} & Y_{kn} \\ Y_{l1} & Y_{l2} & \dots & Y_{lk} & Y_{ll} & Y_{lm} & Y_{ln} \\ Y_{m1} & Y_{m2} & \dots & Y_{mk} & Y_{ml} & Y_{mm} & Y_{mn} \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nk} & Y_{nl} & Y_{nm} & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ u_k \\ u_l \\ u_m \\ u_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_k \\ I_l \\ I_m \\ I_n \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Чтобы получить эквивалентные параметры расчетной части схемы, нужно исключить все узлы второй подсхемы. Разбив матрицу  $Y$  и векторы  $[U]$ ,  $[I]$  на блоки, соответствующие выделенным подсхемам, систему (1) можно записать в виде:

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix},$$

или, в развернутом виде:

$$\begin{aligned} Y_{11}U_1 + Y_{12}U_2 &= I_1 \\ Y_{21}U_1 + Y_{22}U_2 &= I_2 \end{aligned} \quad (2)$$

Выразив из второго уравнения напряжения всех внешних узлов  $U_2$  через напряжения узлов первой подсхемы:

$$U_2 = Y_{22}^{-1}I_2 - Y_{22}^{-1}Y_{21}U_1$$

и, подставив их в первое уравнение, получим:

$$(Y_{11} - Y_{12}Y_{22}^{-1}Y_{21})U_1 = I_1 - Y_{12}Y_{22}^{-1}I_2, \text{ или}$$

$$Y_{\text{вн. экв.}} U_{\text{вн. экв.}} = I_{\text{вн. экв.}} \quad (3)$$

Уравнениям (3) соответствует эквивалентная схема электрической сети, которая содержит только узлы первой подсхемы, эквивалентные собственные и взаимные проводимости внешней сети относительно узлов замыкания:

$$Y_{\text{вн. экв.}} = (Y_{11} - Y_{12}Y_{22}^{-1}Y_{21}),$$

и эквивалентные задающие токи в узлах замыкания:

$$I_{\text{вн.э.кв.}} = I_1 - Y_{12}Y_{22}^{-1}I_2.$$

Зная эквивалентные параметры расчетной подсистемы, можно определить токи КЗ в узлах расчетной схемы с учетом влияния внешней сети.

Результаты, полученные при этом для эквивалентной схемы, совпадают с результатами решения исходной системы уравнений (1), а положительный эффект, получаемый при такой последовательности расчетов, заключается в том, что задача решается по частям и порядок систем уравнений, решаемых на каждом шаге, меньше суммарного порядка схемы в целом.

Моделирование переходных процессов требует составления и решения систем дифференциальных уравнений. Для линейной системы решение в соответствии с классическим методом представляет сумму принужденных и свободных составляющих. Принужденные составляющие являются решением соответствующих уравнений установившегося режима и к ним применима описанная выше процедура эквивалентирования.

Что же касается свободных составляющих, то они являются решением системы однородных дифференциальных уравнений

$$\frac{d}{dt}[x] = [A][x], \quad (4)$$

где  $x$  – вектор, содержащий токи индуктивных и напряжения емкостных элементов,  $A$  – матрица параметров индуктивных и емкостных элементов.

Если  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ , – корни характеристического уравнения

$$D(\lambda) = a_0\lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + a_2\lambda^{n-2} + \dots + a_{n-1}\lambda + a_n = 0 \quad (5)$$

соответствующего уравнениям (4), то, считая, что первые  $m$  корней являются вещественными, а остальные комплексными, общее решение уравнения (4) можно представить в виде:

$$x_i(t) = \sum_{i=1}^n c_i e^{\lambda_i t} = \sum_{i=1}^m c_i e^{\alpha_i t} + \sum_{i=m+1}^n c_i e^{\alpha_i t} \sin(\omega_i t + \phi_i), \quad (6)$$

где  $t$  – время,  $c_i$  и  $\phi_i$  – некоторые константы. В первой сумме  $\alpha_i$  – вещественные корни характеристического уравнения, а слагаемые  $c_i e^{\alpha_i t}$  – аperiodические составляющие решения. Во второй сумме  $\alpha_i$  и  $\omega_i$  – вещественные и мнимые составляющие комплексных корней  $\lambda_i = \alpha_i \pm j\omega_i$  характеристического уравнения, а слагаемые  $c_i e^{\alpha_i t} \sin(\omega_i t + \phi_i)$  – колебательные составляющие решения системы.

Если система дифференциальных уравнений (4) составлена для эквивалентной схемы, полученной на основании уравнений стационарного режима (1), то однозначно можно утверждать, что принужденные составляющие (установившиеся значения) решения будут соответствовать действительности. Что же касается свободных составляющих решения, то при переходе к эквивалентной схеме изменяются как состав (количество) свободных составляющих, так и постоянные времени (корни характеристического уравнения), следовательно, изменяется и характер переходного процесса. Поэтому следует отметить, что при замене реальной разветвленной сети упрощенной схемой, включающей суммарные емкости и эквивалентные индуктивности, задача упрощается, но вопрос о том, насколько результаты моделирования переходных процессов, полученные по эквивалентной схеме, будут соответствовать результатам моделирования по полной схеме, остается открытым.

Для того, чтобы получить ответ на этот вопрос выполнены вычислительные эксперименты, которые состояли в том, что получены результаты расчетов электромагнитных переходных процессов в электрических сетях 6 кВ с изолированной нейтралью для полных и эквивалентных схем (рис. 2) с целью их сопоставления.

Расчеты выполнены с применением математических моделей и программных средств ANFAZ2 [3], позволяющих моделировать электромагнитные переходные процессы с учетом реальной схемы электрической сети на основе узловых уравнений в фазных координатах. Программными средствами [3] обеспечивается:

- формирование дифференциальных уравнений электромагнитных переходных процессов в фазных координатах в схеме произвольной конфигурации с любым режимом нейтрали (изолированной, глухо заземленной или резонансно заземленной),
- решение полученной системы дифференциальных уравнений при заданных коммутациях неявными методами,
- представление результатов моделирования в виде цифрограмм токов и напряжений в заданных элементах электрической сети.

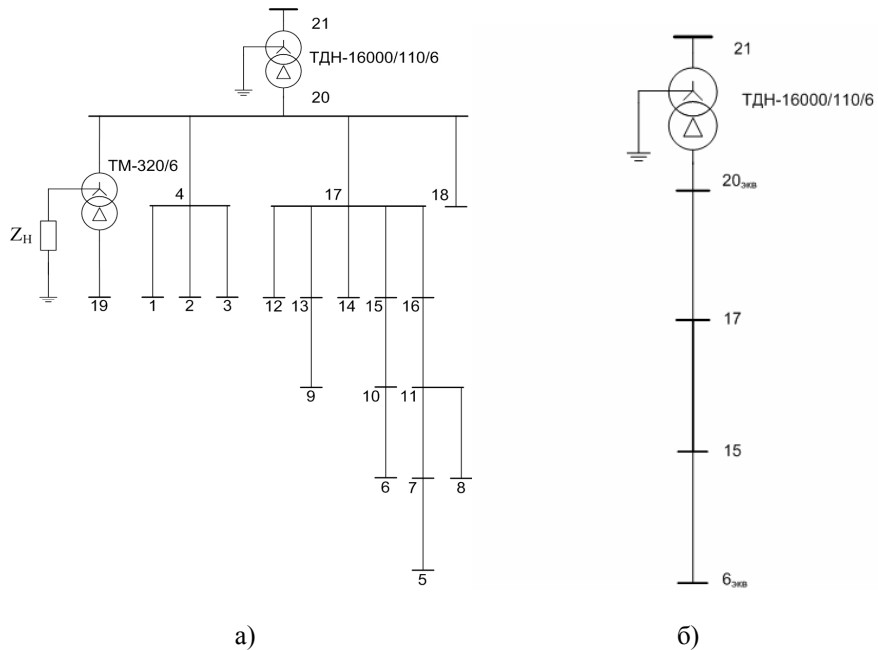


Рисунок 2 – Расчётные схемы электрической сети: а) реальная, б) упрощенная

Адекватность модели подтверждена сравнением результатов расчетов с данными экспериментов [3], которое показало хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных.

Для иллюстрации результаты моделирования электромагнитных переходных процессов при замыкании фазы на землю в кабельной сети 6 кВ с изолированной нейтралью (суммарная протяженность кабельных сетей – 21,5 км) представлены на рис. 3, 4.

Из представленных результатов видно, что цифрограммы, относящиеся к упрощенной схеме, качественно и количественно отличаются от цифрограмм переходных процессов в полной схеме. Причем это различие, как показали расчеты, выполненные для ряда схем, тем значительней, чем протяженнее сеть. Поэтому более адекватными следует признать модели электромагнитных переходных процессов, основанные на составлении и решении дифференциальных уравнений в фазных координатах, с учетом реальной конфигурации сети.

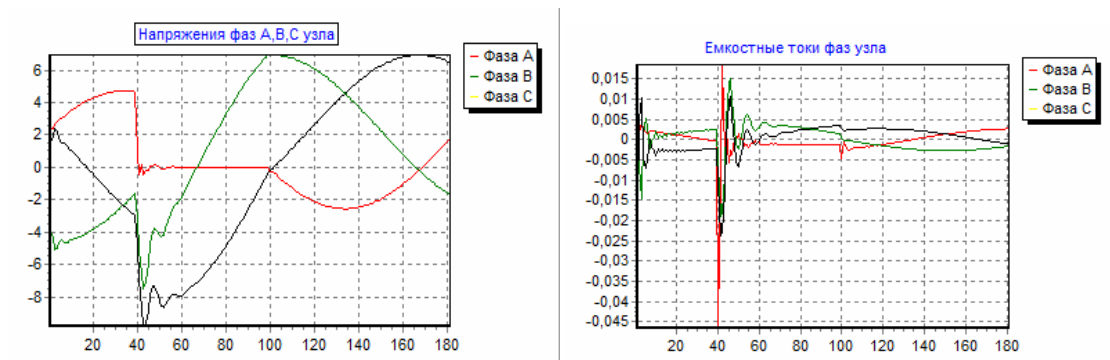


Рисунок 3 – Результаты моделирования переходного процесса в реальной схеме электрической сети



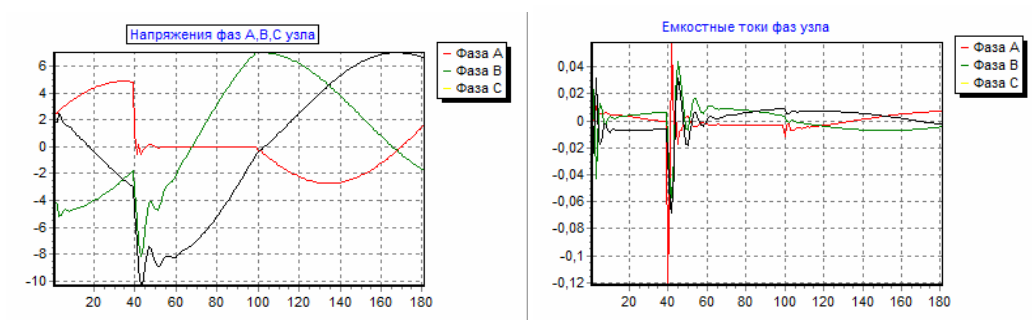


Рисунок 4 – Результаты моделирования переходного процесса в упрощенной схеме электрической сети

**Выводы.** При применении узловых уравнений в фазных координатах и неявных методов численного интегрирования для математического моделирования переходных процессов обеспечивается алгоритмизация процедур как решения, так и формирования дифференциальных уравнений с учетом реальной конфигурации схем электрических сетей.

Для исследования переходных процессов в электрических сетях необходимо использовать модели, отражающие реальную конфигурацию схем электрических сетей на основе уравнений в фазных координатах, так как модели переходных процессов, использующие эквивалентные схемы электрических систем, полученные по условиям стационарных режимов, не отражают действительную картину переходных процессов.

#### Литература

1. Кобазев В.П. Амплитудні та фазові характеристики компенсованої мережі при однофазному замиканні на землю. Наукові праці Донецького національного університету, № 9(158) 2009.
2. Дударев Л.Е. Численный анализ феррорезонансных процессов в сетях с изолированной нейтралью / Л.Е. Дударев, И.В. Волошек // Электрические станции. – 1991. – №4. – с. 66–71.
3. Веприк Ю.Н. Базовая модель электромагнитных переходных процессов в электрических системах с несимметрией / Ю.Н. Веприк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий.– 2010.– №2.– с. 37–42.

#### Bibliography (transliterated)

1. Kobzev V.P. Amplitudni ta fazovi harakterystyky kompensovanoji merezhi pry odnofaznomu zamykanni na zemlju. Naukovi pratsi Donets'kogo natsional'nogo universytetu, № 9(158) 2009.
2. Dudarev L.E. Chislennyj analiz ferrerezonansnyh protsessov v setjah s izolirovannoju nejtral'ju. L.E. Dudarev, I.V. Voloshek. Elektricheskie stantsyi.– 1991.– №4.– P. 66–71.
3. Veprik Ju.N. Bazovaja model' elektromagnitnyh perehodnyh protsessov v elektricheskikh sistemah s nesimetrijei. Ju.N. Veprik. Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij.– 2010.– №2.– P. 37–42.

УДК 621.311.014

Веприк Ю.Н., Небера О.А.

### РОЗРАХУНКОВІ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ В ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСАХ ТА ЇХ ЕКВІВАЛЕНТНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ

У статті розглядаються розрахункові схеми електричних мереж. На основі розрахунків зроблено висновки, що для дослідження перехідних процесів в електричних мережах необхідно використовувати повні моделі на основі рівнянь в фазних координатах.

Veprik Ju.N., Nebera O.A.

### CALCULATION SCHEMES OF ELECTRICAL SYSTEMS IN TRANSIENTS AND THEIR EQUIVALENT TRANSFORMATIONS

The article deals with calculation scheme of electric networks. On the basis of the calculations was concluded that for the study of transients in electrical networks is necessary to use complete models based on the equations in the phase variables.

## НОВИЙ ПОГЛЯД НА КУПАЖОВАНІ ОЛІЇ

**Вступ.** Харчування відіграє основну роль у житті людини, а тому його якість впливає на здоров'я. Різні поживні речовини, що надходять з їжею в організм людини, забезпечують його (організм) пластичним матеріалом і енергією [1]. Сьогодні більшість населення України відчуває нестачу в вітамінах, мінеральних речовинах, незамінних жирних кислотах, яке обумовлено їх недостатнім споживанням або нерациональним їх співвідношенням у щоденному харчовому раціоні. Нестача цих компонентів в їжі і приводить до розвитку ряду захворювань. В 2013 році за оцінкою агентства *Bloomberg Rankings* за станом здоров'я населення, Україна займала 99 місце зі 145 держав.

Згідно принципів нутриціології – науки про харчування – треба змінити підхід до складу, властивостей та, отже технологій харчових продуктів, які повинні не тільки задовольняти потреби організму людини в основних харчових речовинах і енергії, але також забезпечувати його всім необхідним спектром мікроінгредієнтів, сприяючи профілактиці аліментарно-залежних захворювань. У той же час їжа повинна бути різноманітною, смачною, безпечною та відповідати нашим національним традиціям. До нового покоління харчових продуктів можна віднести і функціональні харчові продукти, які призначені для систематичного використання у складі харчових раціонів різних вікових груп населення, що може знизити ризик розвитку захворювань.

Олійна продукція може стати одним з головних сегментів ринку функціональних продуктів – пріоритетного напрямку харчової промисловості. Олії є не тільки джерелом енергії та пластичного матеріалу, але і важливим постачальником функціональних інгредієнтів – поліненасичених жирних кислот (ПНЖК), жиророзчинних вітамінів, фосфоліпідів та інших біологічно активних речовин. Крім того олії відносно недорогий традиційний продукт харчування. Основні олії, що використовуються населенням України для приготування салатів та їжі, є соняшникова та кукурудзяна олії. Але ці олії містять лише жирні кислоти  $\omega$ -6. Жирні кислоти  $\omega$ -3 містять такі, як лляна, ріпакова та соєва олії, що практично вилучені із раціону харчування, тому що деякі споживачі підсвідомо вважають смак даних олій «неправильним» і лише соняшникової олії – «правильним» [2].

Однак, для того щоб підвищити біологічну та фізіологічну цінність олій за рахунок корекції вмісту ПНЖК, можна їх (олії) змішувати – купажувати. Для одержання купажів олій повинна використовуватися одна або дві основні олії, що формують основу збалансованого жирнокислотного складу. Такі купажі можуть використовуватися і як лікувально-профілактичні засоби. В останні роки на ринку збільшилась кількість різних видів сумішей олій (соняшникова-кукурудзяна, соняшникова-оливкова), але це пов'язано здебільш з економічними міркуваннями (розбавлення більш дорогих олій дешевими або прагненням виробника розширити свій асортимент) [3]. З підвищення вмісту ПНЖК можливе зменшення стійкості олій до окиснення. Таким чином дослідження, що направлені на обґрунтоване створення олій із збалансованим жирнокислотним складом з метою зменшення дефіциту в  $\omega$ -3 ПНЖК і до того ж стійких до окиснення, є актуальним.

**Сучасний стан проблеми.** Концепція купажування олій розроблена російськими вченими наприкінці ХХ століття [4, 5]. Відомими є роботи російських вчених А.Г. Баришева, О.М. Скорюкіна, А.П. Нечаєва, О.В. Табакаєвої та українських – І.Г. Радзиевської, А.П. Белінської. Для розробки олій-сумішей ними рекомендовано використовувати доступні олії, такі як соняшникову, кукурудзяну, оливкову, ріпакову, лляну та соєву [6].

В Росії існує нормативна документація на купажовану олію «Здравное» на основі соняшникової та ріжівової олій (ТУ 9141-012-340448159-03) та «Калитва» на основі соняшникової, лляної та паростків пшениці (ТУ 9141-003-51303328-00) [7].

Подібні розробки існують і в республіці Білорусь. Спеціалістами Науково-практичного центру Національної академії наук Білорусі з продовольства розроблені збалансовані за жирнокислотним складом рецептури олій: «Золотистое» на основі ріпакової та соняшникової олій (70 : 30), «Лянок», що складається з соняшникової та лляної олій у співвідношенні 90 : 10 та «Белорусское» – суміші соняшникової, ріпакової та лляної олій (68 : 30 : 2), а також технічні умови «Олій харчові купажовані», які дозволяють вироблення даних видів олій [7].

В нашій країні фірмою ВАТ «Делфа» розроблена серія салатних олій функціонального призначення «Богатирська», «Пікантне», «Цілюще» до складу яких входять такі олії як лляна, ріжівова, соняшникова, гірчична, кукурудзяна [7]. Українським науково-дослідним інститутом олій та жирів НААН для ПрАТ з П «Дніпропетровський олійноекстракційний завод» розроблено технологічну інструкцію на виробництво

сумішей олій соняшникова – кукурудзяна та соняшникова – оливкова». На сьогоднішній день в Україні існує ДСТУ 4536:2006 «Олії купажовані. Технічні умови», який регламентує склад і показники якості змішаних олій (купажів). Перевагою даного стандарту є те, що в ньому приведені рецептури сумішей олій з розповсюджених на ринку видів олій і таким чином закладені методичні основи для формування асортименту олій-сумішей різноманітних варіантів. Однак даний нормативний документ наводить рецептури купажів олій, які здебільш складаються з великої частки соняшникової олії, що є тільки джерелом жирних кислот  $\omega$ -6, а тому відповідно жирнокислотний склад цих сумішей не може бути названий збалансованим.

**Мета і основні задачі роботи.** Метою даної роботи є одержання стійких до окиснення купажів олій, які дозволяють задовольняти потреби організму людини в ПНЖК при споживанні їх добової норми. Об'єктами дослідження є деякі купажі рафінованих олій: соняшникової, ріпакової та соєвої. Для досягнення мети треба вирішити наступні задачі:

- одержати моделі купажованих олій, які мають фізіологічну цінність;
- встановити жирнокислотний склад одержаних купажів;
- визначити стійкість до окиснення даних купажів;
- встановити органолептичні показники даних купажів.

**Результати роботи.** Розрахунок рецептур купажованих рафінованих дезодорованих олій згідно рекомендацій дієтологів ( $\omega$ -6 :  $\omega$ -3 = 3 – 10 : 1) проведено за допомогою розробленої методики на основі лінійного програмування в пакеті програм *MatCad* [8] з використанням жирнокислотного складу вихідних олій рафінованих дезодорованих, що одержано при їх ідентифікуванні [9]. Аналітична обробка даних жирнокислотного складу вихідних олій за допомогою запропонованої системи рівнянь дозволяє підібрати їх оптимальне співвідношення у складі купажу, що наведено в [10].

Автором одержано моделі купажів на основі вітчизняних олій – соняшниковій (П), ріпаковій (Р) та соєвій (С) при співвідношенні  $\omega$ 6 :  $\omega$ 3 = 5 : 1 (де відношення П : Р : С відповідно 20:75:5 (Обр. 1), 18:72:10 (Обр. 2), 15:70:15 (Обр. 3), 13:67:20 (Обр. 4), 11:64:25 (Обр. 5), 9:61:30 (Обр. 6)) та виходячи з вмісту жирних кислот в обраних оліях та частки (% , об.) олій в купажах; встановлено розрахунковим методом (р) жирнокислотний склад даних взірців купажованих рафінованих олій. Для купажу П : Р : С = 15 : 70 : 15 на газорідинному хроматографі «*Shimadzu*» GC-14B (Японія) жирнокислотний склад підтверджено експериментально (е). Одержані результати приведено у табл. 1 нижче.

Таблиця 1 – Жирнокислотний склад (ЖК) олій купажованих рафінованих при  $\omega$ -6 :  $\omega$ -3 = 5 : 1

ЖК	Олія купажована рафінована					
	20:75:5	18:72:10	15:70:15 (р/е)	13:67:20	11:64:25	9:61:30
C <sub>16:0</sub>	6,09	6,34	6,59/5,45	6,84	7,1	7,32
C <sub>18:0</sub>	2,32	2,33	2,43/2,25	2,52	2,62	2,71
C <sub>18:1</sub>	54,77	52,62	50,47/51,59	48,32	46,12	43,87
C <sub>18:2</sub>	29,76	30,46	31,16/30,81	31,86	32,61	33,06
C <sub>18:3</sub>	6,041	6,19	6,33/7,16	6,47	6,61	6,75
C <sub>20:0</sub>	0,0175	0,035	0,05	0,07	0,0875	0,105
C <sub>20:1</sub>	0,017	0,034	0,051	0,068	0,085	0,102
C <sub>20:2</sub>						
C <sub>22:0</sub>	0,136	0,12036	0,10472/0,64	0,089	0,07412	0,056
МНЖК ПНЖК	1,56	1,49	1,42/1,35	1,36	1,3	1,23

Фактичний склад купажів, що визначено хроматографічно, незначно відрізняється від розрахункового, а співвідношення  $\omega$ -6 :  $\omega$ -3, що одержано теоретично і фактично за результатами хроматографічного аналізу зразків відрізнялись не більш ніж на 2 – 4 %.

Проведено дослідження оцінки процесів окиснення деяких купажів ( $\omega$ -6 :  $\omega$ -3 = 5 : 1) олій на приладі *OXITEST* (компанія *Velp Scientifica*, Італія) при температурі 100 °С та розраховано графічним методом період індукції. Результати надано в таблиці 2.

Результати табл. 2 свідчать про те, що індукційний період моделей купажованих олій зі зниженням об'ємної частки ріпакової олії та підвищенням частки соєвої олії – знижується. Це можна пояснити лише зниженням частки природних антиоксидантів, які присутні у вихідній ріпаковій олії (токоферолів та стеролів). Цей висновок підтверджують і результати робіт [2, 11] з яких з'ясовано, що період індукції окиснення соєвої олії менше ніж ріпакової, а індукційний період окиснення соняшникової менший, ніж у соєвій або ріпаковій оліях.

Таблиця 2 – Індукційний період (IP) олій

Купаж П : Р : С	IP <sub>6</sub> <sup>*</sup> , хв	IP <sub>9</sub> <sup>*</sup> , хв
13 : 67 : 20		345
11 : 64 : 25		333
9 : 61 : 30		301
15 : 70 : 15	489	

IP<sub>6</sub><sup>\*</sup>, IP<sub>9</sub><sup>\*</sup> – індукційний період купажів олій через 6 та 9 місяців, відповідно

Крім показника стійкості до окиснення та жирнокислотного складу, фізіологічно цінні купажовані олії оцінено і органолептичне, а результати для зручності сприйняття надані у вигляді профільграми на рисунку 1.

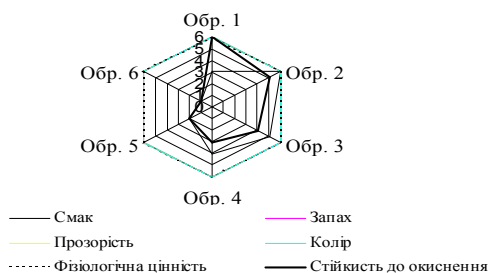


Рисунок 1 – Профільграма органолептичних та деяких фізико-хімічних показників купажів

Профільграма доказує, що всі купажі олій мають високу фізіологічну цінність. Органолептичні показники, такі як запах, прозорість та колір, олій купажованих рафінованих дезодорованих відповідають найвищому балу, а смак з підвищенням об'ємної частки соєвої олії у сумішах олій – погіршується. Стійкість до окиснення зі зниженням об'ємної частки ріпакової олії та підвищенням частки соєвої олії – знижується.

За одержаними результатами властивостей (фізіологічна цінність за рахунок корегування жирнокислотного складу, стійкість до окиснення, смак, запах, колір) купажі олій обр. 2 та обр. 3, можна рекомендувати як для безпосереднього вживання в їжу так і для одержання таких емульсійних продуктів, як майонез та косметичний крем для сухої шкіри.

**Висновки.** В результаті роботи за розробленою в попередніх роботах математичною методикою розраховано і експериментально одержано моделі купажів, що відповідають співвідношенням збалансованих за жирнокислотним складом олій. Розраховано та експериментально на газорідному хроматографі «Shimadzu» GC-14B (Японія) встановлено жирнокислотний склад отриманих купажованих олій. Визначені органолептичні показники, стійкість до окиснення дає змогу рекомендувати моделі купажів обр. 2 та обр. 3 як для безпосереднього вживання в їжу так і для одержання емульсійних продуктів функціонального призначення.

**Література**

1. Тутельян В.А. Функциональные жирове продукты в структуре питания / В.А. Тутельян, А.П. Нечаев, А.А. Кочеткова // Масложировая промышленность. – 2009. – № 6. – С. 6–9.
2. Лисицын А.Н. Некоторые факторы, определяющие стабильность растительных масел к окислению / А.Н. Лисицын, Т.Б. Альмова, Л.Т. Прохорова и др. // Масложировая промышленность.– 2005.– № 3.– С. 11–15.
3. Окара А.И. Управление жирно-кислотным составом и потребительскими свойствами растительных масел-смесей путем оптимизации рецептур / А.И. Окара, К.Г. Земляк, Т.К. Каленик // Масложировая промышленность.– М., 2009.– № 2.– С. 8–10.
4. Нечаев А.П. Научные основы технологий получения функциональных продуктов нового поколения / А.П. Нечаев // Масла и жиры.– М., 2007.– № 8.– С. 26–27.
5. Нечаев А.П. Растительные масла функционального назначения / А.П. Нечаев, А.А. Кочеткова // Масложировая промышленность.– М., 2005.– № 3.– С. 20–21.
6. Кулакова С.Н. Особенности растительных масел и их роль в питании / С.Н. Кулакова, В.Г. Байков, В.В. Бессонов // Масложировая промышленность.– 2009.– № 3.– С. 16–20.
7. Степычева Н.В. Купажированные растительные масла с оптимизированным жирно-кислотным составом / Н.В. Степычева, А.А. Фудько // Химия растительного сырья.– 2011.– №2.– С. 27–33.
8. Матвеева Т.В. Математичне обґрунтування складання сумішей олій / Т.В. Матвеева, П.Ф. Петік, З.П. Федякіна // Східно-Європейський журнал передових технологій.– Х., 2013.– №3/6 (63).– С. 26–28.

9. Матвеева Т.В. Щодо купажування олій за жирнокислотним складом / Т.В. Матвеева // Материали за X міжнародна научна практична конференція «Ключові впроєкти в сучасній науці 2014». – Том 33. – Софія: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2014. – С. 80–84.

10. Матвеева Т.В. Купажі олій – джерело поліненасичених жирних кислот / Т.В. Матвеева, З.П. Федякіна // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України. – Одеса, 2014. – Вип.46. – Том 1. – С. 210–213.

11. Матвеева Т.В. Купажовані олії – продукти здорового харчування / Т.В. Матвеева // Materials of the X International scientific and practical conference «Conduct of modern science – 2014». – Sheffield: Science and education LTD, 2014 – Vol. 22. – С. 64–68.

Bibliography (transliterated)

1. Tutelyan V.A. Funktsionalnyie zhirove produkty v strukture pitaniya. V.A. Tutelyan, A.P. Nechaev, A.A. Kochetkova. Maslozhirovaya promyshlennost. – Moskva, 2009. – # 6. – P. 6–9.

2. Lisitsyn A.N. Nekotoryie faktoryi, opredelyayushchie stabilnost rastitelnyih masel k okisleniyu. A.N. Lisitsyn, T.B. Alyimova, L.T. Prohorova i dr. Maslozhirovaya promyshlennost. – Moskva, 2005. – # 3. – P. 11–15.

3. Okara A.I. Upravlenie zhirno-kislotnyim sostavom i potrebitelskimi svoystvami rastitelnyih masel-smesey putem optimizatsii retseptur. A.I. Okara, K.G. Zemlyak, T.K. Kalenik. Maslozhirovaya promyshlennost. – Moskva, 2009. – # 2. – P. 8–10.

4. Nechaev A.P. Nauchnyie osnovy tehnologiy polucheniya funktsionalnyih produktov novogo pokoleniya. A.P. Nechaev. Masla i zhiryi. – Moskva, 2007. – # 8. – P. 26–27.

5. Nechaev A.P. Rastitelnyie masla funktsionalnogo naznacheniya. A.P. Nechaev, A.A. Kochetkova. Maslozhirovaya promyshlennost. – Moskva, 2005. – # 3. – P. 20–21.

6. Kulakova S.N. Osobennosti rastitelnyih masel i ih rol v pitanii. S.N. Kulakova, V.G. Baykov, V.V. Besonov. Maslozhirovaya promyshlennost. – 2009. – # 3. – P. 16–20.

7. Stepyicheva N.V. Kupazhivannyie rastitelnyie masla s optimizirovannym zhirno-kislotnyim sostavom. N.V. Stepyicheva, A.A. Fudko. Himiya rastitelnogo syrya. – Moskva, 2011. – # 2. – P. 27–33.

8. Matvyeyeva T.V. Matematychno obgruntovannya skladannya sumishey oliy. T.V. Matvyeyeva, P.F. Petik Z.P. Fedyakina. Skhidnoyevropeys'kyi zhurnalпередovykh tekhnolohiy.– K., 2013.– No 3/6 (63).– P. 26–28.

9. Matvyeyeva T.V. Shchodo kupazhuvannya oliy za zhyrnokyslotnym skladom. T.V. Matvyeyeva. Materiali za X mezhdunarodna nauchna praktichna konferentsiya «Klyuchovi voprosi v sovremennata nauka 2014». – Том 33. – Софія: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2014. – P. 80–84.

10. Matvyeyeva T.V. Kupazhi oliy – dzherelo polinenasychenykh zhyrnykh kyslot. T.V. Matvyeyeva, Z.P. Fedyakina. Naukovi pratsi Odes'koyi natsional'noyi akademiyi kharchovykh tekhnolohiy Ministerstva osvity i nauky Ukrayiny. – Odessa, 2014. – Vyp.46. – Том 1. – P. 210–213.

11. Matvyeyeva T.V. Kupazhovani oliyi – produkty zdorovoho kharchuvannya. T.V. Matvyeyeva. Materials of the X International scientific and practical conference «Conduct of modern science – 2014». – Sheffield: Science and education LTD, 2014. – Vol. 22. – P. 64–68.

УДК 664.36

Матвеева Т.В.

**НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА КУПАЖИРОВАННЫЕ МАСЛА**

По формуле сбалансированного питания суточная потребность организма взрослого человека в масле составляет примерно 20–30 г, причем на долю полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) должно приходиться 12–30 % от всех жирных кислот. В данной статье рассчитаны и приведены рецептуры купажированных масел на основе отечественного сырья. Осуществлена оценка стабильности к окислению некоторых купажей.

Matveeva T.V.

**NEW VISION ON BLENDED OIL**

The number and ratio of polyunsaturated (PUFA) – linoleic ( $\omega$  -6) and linolenic ( $\omega$  -3) – fatty acids are most important factors of biological value of vegetable oils. According to the balanced daily diet formula needs of an adult person in oil is approximately 20–30 g that should contain 12–30 % of polyunsaturated fatty acids (PUFAs). Found that among the possible methods of producing oils with a balanced composition as polyunsaturated fatty acids (PUFA)  $\omega$ - 6 and  $\omega$ - 3 and monoenasychennyh fatty acids (MUFA), the most economical, compared with selection, genetic engineering, chemical or enzymatic interesterification can being oil blends. Formulations of blended oils on the base of domestic oils presented in this article. Estimation of stability against oxidation of some blended oils have been conducted.

Добрунов Д.Е., Пивень Е.Н., Перевалов Л.И.

### ЭКСТРАКТ ИЗ БЕЗЛУЗГОВОГО ЯДРА ПОДСОЛНЕЧНИКА – АНТИОКСИДАНТ ДЛЯ КОНДИТЕРСКОГО ЖИРА

Продолжительность хранения многих жиросодержащих продуктов зависит, прежде всего, от качества жира, входящего в их состав. В контакте с воздухом жиры растворяют его компоненты, в том числе кислород. В результате такого окисления в жире появляются новые вещества, и он приобретает новые свойства, качество и степень выраженности которых зависит от ряда причин и действующих факторов. Если глубина окисления невелика, то заметно меняются, главным образом, его органолептические свойства – вкус и запах. Изменение вкуса и запаха жиров приводит к тому, что они становятся непригодными к употреблению в пищу. Для того, чтобы замедлить процесс окисления жиров к ним добавляют вещества, которые ингибируют этот процесс. Проявление их действия выражается в увеличении периода индукции и снижении скорости окисления.

Ингибиторы (или антиоксиданты) в последнее время приобретают большое значение. Их применение позволяет повысить стабильность жиров к окислительной порче, а также разных пищевых продуктов на их основе.

Сейчас особенно актуальными являются разработки по подбору и внедрению антиоксидантов природного происхождения, которые содержат сложный комплекс веществ в соотношениях дозированных природой, поэтому по своей биохимической природе такие добавки действуют на организм мягче, чем ингредиенты синтетического происхождения [1,2,3,4].

С учетом вышесказанного, целью нашей работы была разработка способа стабилизации кондитерского жира путем добавления экстрактов, извлеченных из безлузгового ядра подсолнечника с использованием кавитационной установки, а задачей – изучение антиоксидантной активности этих экстрактов при использовании в составе кондитерского жира.

Методика определения молярной концентрации антиоксидантов в жирах (маслах) приведена в [5]. Навеску жира (масла) массой 2 г взвешивают в реакторе с точностью 0,001 г. Пипеткой вместимостью 5 см<sup>3</sup> отбирают 3 см<sup>3</sup> о-ксилола и переносят в реактор. Туда же пипеткой вместимостью 1,0 см<sup>3</sup> помещают 0,3 см<sup>3</sup> 0,1 моль/дм<sup>3</sup> раствора инициатора (АИБН) в о-ксилоле.

Установка для измерения поглощения кислорода приведена в [5]. Скорость продвижения мениска жидкости в измерительной бюретке пропорциональна скорости поглощения кислорода жиром (маслом). Измеряя время в мин. и объем поглощенного кислорода в см<sup>3</sup>, строят зависимость количества поглощенного кислорода от времени ( $\Delta N_{O_2}$  от  $t$ ) – рис. 1, по которой графически определяют период индукции  $\tau$ . Он определяется точкой пересечения двух прямых, одна из которых является продолжением участка кривой окисления жира (масла) при отсутствии ингибитора до пересечения с осью абсцисс в точке А и образует с осью абсцисс угол  $\alpha$ , вторая прямая – касательная к кривой окисления в точке, для которой скорость окисления в 2 раза меньше скорости окисления при отсутствии ингибиторов.

Эту точку определяют следующим образом. Проводят линию АА<sub>1</sub> через точку А и середину катета, противоположного углу  $\alpha$ , затем проводят касательную ВВ<sub>1</sub> к кривой окисления, параллельную прямой АА<sub>1</sub>. Искомой точкой лежит на пересечении прямых АС и ВВ<sub>1</sub>. Опускают перпендикуляр из этой точки на ось абсцисс. Точка на пересечении с осью абсцисс (D) и будет соответствовать периоду индукции.

Концентрацию антиоксидантов /  $\ln H$  / в моль/дм<sup>3</sup> рассчитывают по формуле:

$$[\ln H] = \frac{1 \times [АИБН] \times (1 - e^{-K_p \times \tau})}{f} = 0,48 \times [АИБН] \times (1 - 0,9999^f), \quad (1)$$

где  $[АИБН]$  – начальная концентрация инициатора, моль/л;  $K_p$  – константа скорости распада инициатора, при  $t = 80$  °С, равная  $6 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ;  $1/f = 0,48$  – выход радикалов при распаде одной молекулы инициатора);  $f$  – коэффициент ингибирования, равный числу цепей, которые обрываются одной молекулой антиоксиданта);  $\tau$  – экспериментально определенный период индукции, с.

При расчете концентрации антиоксидантов в формулу (1) подставляют использованную в эксперименте и рассчитанную молярную концентрацию инициатора и экспериментально определенный период индукции  $\tau$  в секундах, уменьшенный на 600 с (продолжительность прогрева реакционного сосуда с анализируемой смесью), в течение которого в принятых условиях эксперимента реакция окисления практи-

чески не идет. За величину  $\tau$  принимают среднее арифметическое значение периода индукции, которое определяется по результатам 3 экспериментов.

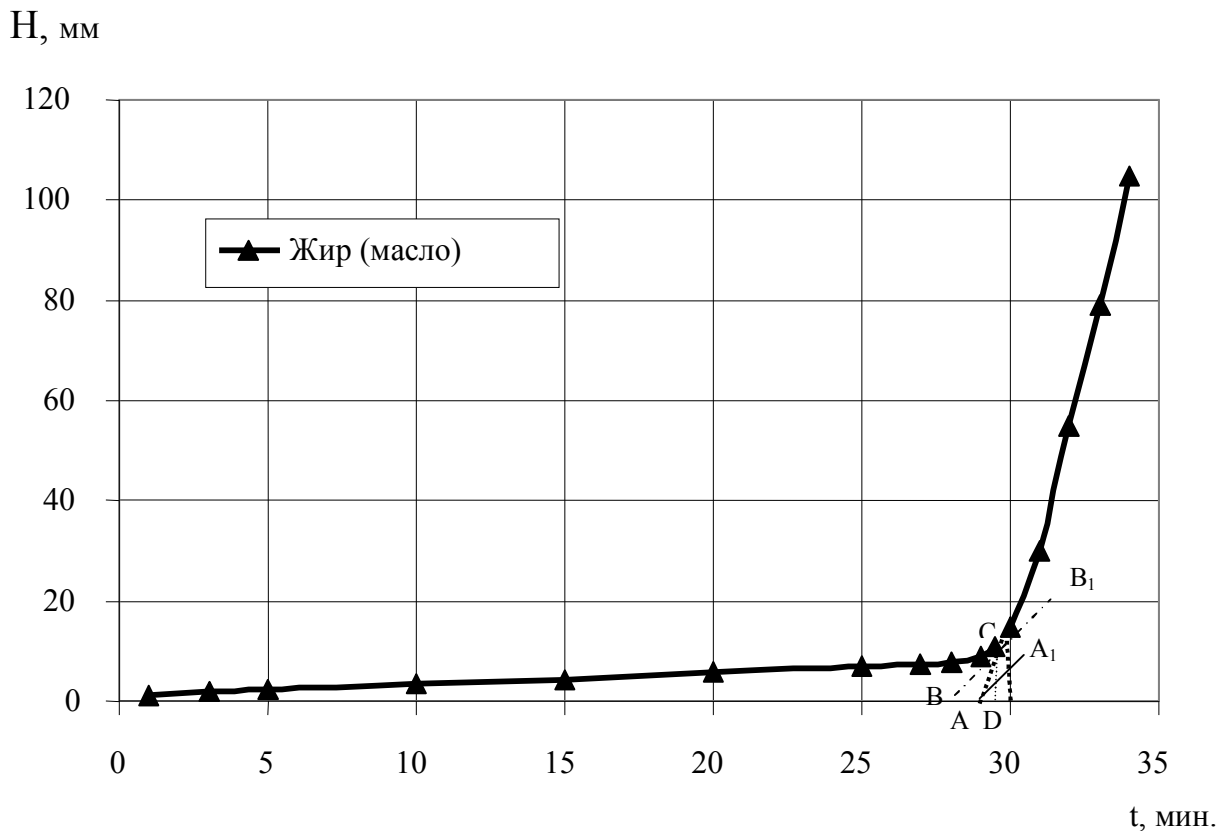


Рисунок – Залежність кількості поглиненого кисню від часу

Перед проведенням основних досліджень зразки насіння соняшника були оброблені рідким азотом при температурі  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , після чого одразу ж були обрушені на центробіжній семенорушці.

На наступному етапі роботи отримане безлузгове ядро отпресовували на плющильному пресі з наступною обробкою лепестка в кавітаційній машині. Після цього отримали суспензію, яку одразу ж отфільтрували на воронці Бюхнера, потім висушили шрот і отримали наступні продукти: білковий продукт, соняшникове масло і мисцеллу. Далі розчинник з мисцелли отогнали і отримали сухі речовини екстрактів зразків соняшничого жмыха. Зразки відрізнялися наступним образом:

зразок №1 – сухі речовини екстрактів соняшничого жмыха, отримані після отгонки розчинника – етилового спирта;

зразок №2 – сухі речовини екстрактів соняшничого жмыха, отримані після отгонки суміші розчинників – етиловий спирт : гексан в співвідношенні 9:1;

зразок №3 – сухі речовини екстрактів соняшничого жмыха, отримані після отгонки суміші розчинників – етиловий спирт : гексан в співвідношенні 1:1;

зразок №4 – сухі речовини екстрактів соняшничого жмыха, отримані після отгонки розчинника – гексана.

Перевірка антиоксидантних властивостей сухих речовин екстрактів зразків соняшничого жмыха на здійснювалася на кондитерському жирі.

Вплив сухих речовин екстрактів соняшничого жмыха зразків: 1, 2, 3, 4 на швидкість окислення кондитерського жиру перевіряли, додаючи 2,5 % екстрактів в окислюваний кондитерський жир. Експерименти проводили на манометричній установці. Дані про швидкість окислення кондитерського жиру в присутності різних екстрактів наведені в табл. 1.

Як видно з результатів таблиці 1 швидкість окислення кондитерського жиру в присутності всіх досліджуваних зразків менше швидкості окислення чистого кондитерського жиру, тобто ці екстракти

тормозят окисление кондитерского жира и таким образом являются ингибиторами цепных свободно-радикальных реакций.

Таблица 1 – Скорость окисления кондитерского жира с добавкой экстракта и без него

Наименование экстракта	Скорость окисления, $W_i \cdot 10^6$ , моль/л·с	Соотношение скоростей
Без экстракта	4,3	1,00
Образец №1	2,0	2,15
Образец №2	1,1	3,90
Образец №3	3,5	1,30
Образец №4	2,3	1,80

На рис. 2 представлены типичные кривые зависимости поглощенного кислорода образцами жира от времени, по которым определяли период индукции и скорость окисления.

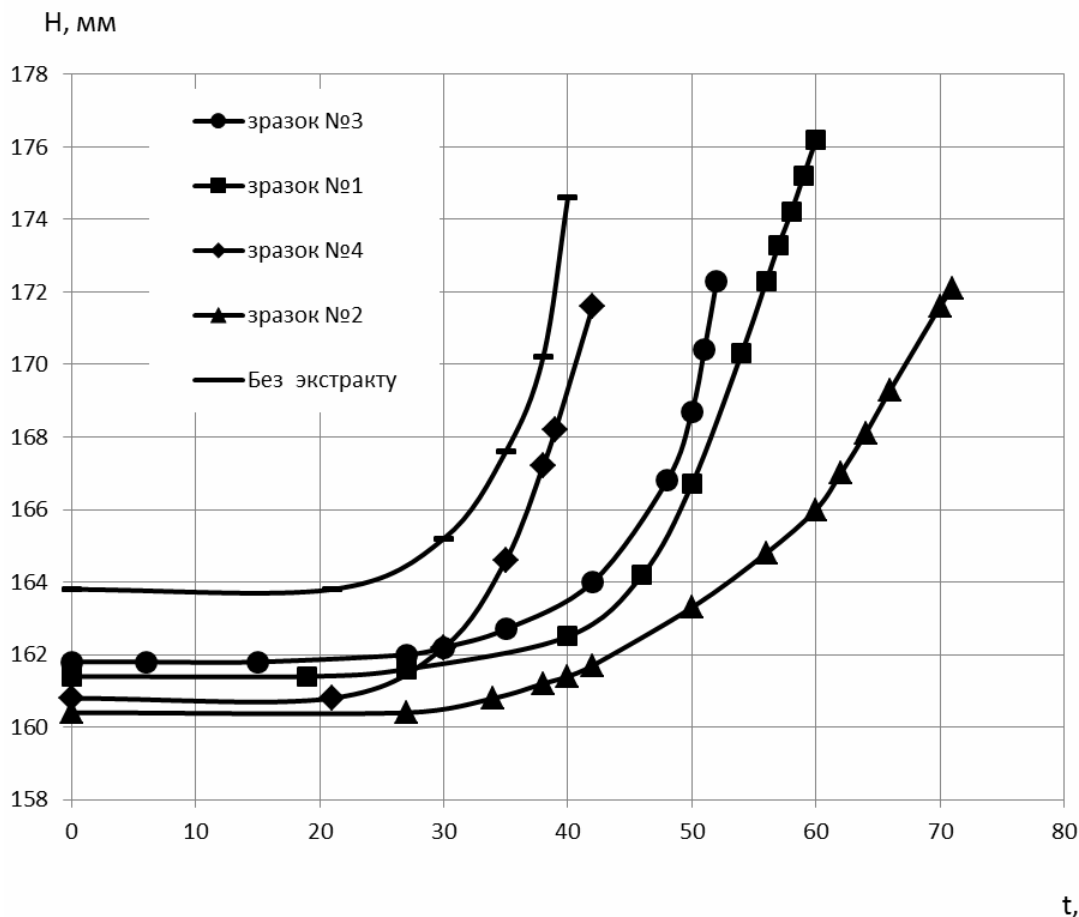


Рисунок 2 – Кинетические кривые поглощения кислорода кондитерским жиром при 75 °С в присутствии инициатора АИБН и ингибитора «образец №1–№4»

Как видно из рисунка, периоды индукции образцов №1 – №4 больше периода индукции кондитерского жира без добавления сухих веществ экстрактов подсолнечного жмыха.

**Выводы.** Таким образом, можно сделать вывод, что все исследуемые образцы сухих веществ экстрактов подсолнечного жмыха тормозят окисление кондитерского жира и являются ингибиторами цепных свободно-радикальных реакций.



Литература

1. Natural antioxidants: chemistry, health effects, and applications/editor, Fereidoon Shahidi, 1997. – 414 с.
2. Roga J., Terao J. Antioxidant activity of a novel phosphatidyl derivative of vitamin E in lard and its model systems // J. Agr. and Food Chem. – 1994. – Vol. 42, №6. – P. 1291–1294.
3. Chimit A., Cillard I., Cillard P., Rahmai M. Peroxyl and Hydroxyl radical scavenging activity of same natural phenolic antioxidants // JAOCs. – 1991. – Vol.68, №5. – P. 308–312.
4. Madhujith T., Amarowicz R., Shahidi F. Phenolic Antioxidants in Beans and Their Effects on Inhibition of radical-Induced DNA Damage // JAOCs.– 2004. – Vol. 81, №7. – P. 691–696.
5. Ушкалова В.Н. Стабильность липидов пищевых продуктов / В.Н. Ушкалова. –М.: – Агропромиздат, 1988. – 152 с.

Bibliography (transliterated)

1. Natural antioxidants: chemistry, health effects, and applications/editor, Fereidoon Shahidi, 1997. – 414 p.
2. Roga J., Terao J. Antioxidant activity of a novel phosphatidyl derivative of vitamin E in lard and its model systems. J. Agr. and Food Chem. – 1994. – Vol. 42, №6. – P. 1291–1294.
3. Chimit A., Cillard I., Cillard P., Rahmai M. Peroxyl and Hydroxyl radical scavenging activity of same natural phenolic antioxidants. JAOCs. – 1991. – Vol. 68, №5. – P. 308–312.
4. Madhujith T., Amarowicz R., Shahidi F. Phenolic Antioxidants in Beans and Their Effects on Inhibition of radical-Induced DNA Damage. JAOCs. – 2004. – Vol. 81, №7.– P. 691–696.
5. Ushkalova V.N. Stablnost lipidov pischevyih produktov. V.N. Ushkalova. –М.: – Agropromizdat, 1988. – 152 p.

УДК 664.3

Добрунов Д.С., Півень О.М., Перевалов Л.І.

**ЭКСТРАКТ З БЕЗЛУЗГОВОГО ЯДРА СОНЯШНИКА – АНТИОКСИДАНТ ДЛЯ  
КОНДИТЕРСЬКОГО ЖИРУ**

У статті запропоновано спосіб стабілізації кондитерського жиру шляхом додавання екстрактів, вилучених з безлузпинного ядра соняшнику з використанням кавітаційної установки. Перевірка антиоксидантних властивостей сухих речовин екстрактів зразків соняшникової макухи здійснювалася манометричним методом.

Dobrunov D., Piven O., Perevalov L.

**EXTRACT FROM SUNFLOWER KERNELS WITHOUT HUSK - ANTIOXIDANTS FOR  
CONFECTIONERY FAT**

This article proposes a method for stabilizing confectionery fat by the addition of extracts, extracted from sunflower kernels without husk using cavitation installation. Checking the antioxidant properties of solids extracts samples of sunflower meal on exercise manometric method.

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕПРЕГА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КОМПЛЕКТУЮЩИХ  
ДЛЯ ПРОТЕЗНО-ОРТОПЕДИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

За последние десятилетия в протезостроении, в том числе в отечественной отрасли, значительно расширился ассортимент изделий из препрега. Это объясняется возможностью создания на базе препрега простых конструкций с оптимальным комплексом эксплуатационных свойств, особенно важных для протезно-ортопедических изделий (ПОИ), а именно: малым весом и объемом, высокими деформационно-прочностными свойствами, дифференцированными, в случае необходимости, по поверхности изделия.

В 2005–2006 годах в УкрНИИ протезирования был разработан полиэфирный препрег, в состав армирующей системы которого входила углеткань на основе графитизированных вискозных волокон производства Белоруси.

Необходимость разработки препрега для отечественного протезирования объяснялась отсутствием на украинском рынке материала на основе компонентов, имеющих разрешение Минздрава, с одной стороны и высокой стоимостью и особыми условиями транспортировки препрегов, разработанных для протезостроения иностранными фирмами, с другой стороны.

В качестве связующего препрега использовали безстирольную смолу ПН-609-2М, наполненную аэросилом, сополимером А-15, окисью магния и перекисью бензоила в качестве отвердителя. Подробное описание рецептуры связующего было приведено в предыдущих публикациях [1].

В качестве армирующего компонента была разработана гибридная система ламинатного типа, состоящая из 3 слоев углеткани на основе графитизированных вискозных волокон марки Урал Т-2-22 (СТБ 995-2011, Беларусь) и стеклоткани марки Т-13 ГОСТ 19170-2001 [2].

Разработанные в последние годы конструкции ортезов повышенной функциональности, для изготовления которых требуется препрег с очень высокими прочностными характеристиками, а также нестабильность рынка отечественных материалов, привели к необходимости улучшения качества разработанного ранее и описанного выше материала.

Как известно [3, 4] основным фактором при формировании характеристик композиционных материалов, и в частности препрега, является подбор армирующего компонента. Выбор связующего для отечественных препрегов, применяющихся при изготовлении ПОИ наиболее распространенным методом «Мальме» ограничен в силу технологической специфики этого метода.

Материалы и методы. С целью улучшения прочностных характеристик полиэфирного препрега были изучены углеткани разной поверхностной плотности на основе графитизированных полиакрилонитрильных волокон производства иностранных, наиболее доступные для отечественного производителя, в качестве составляющего компонента в ламинатной армирующей системе полиэфирного препрега.

Как вариант сравнения использовали разработанный ранее препрег, описанный выше.

Препрег получали методом послойной пропитки армирующей системы ламинатного типа (3 слоя углеткани и 2 слоя стеклоткани), который выдерживали при  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , в течение 3–4 суток для вызревания.

Соотношение связующее : армирующий компонент составляло 40 : 60.

В армирующей системе варьировали угольный компонент отверждение препрега осуществляли методом формования с эластичной мембраной при  $150^\circ\text{C}$ , давлении  $(-0,6) - (-0,8) \text{ кг/см}^2$  в течение 60 мин. С предварительной выдержкой под действием вакуума при комнатной температуре для удаления межслойной влаги в течение 30 мин.

Образцы стандартной величины вырезали из отвержденного материала с помощью виброножа. Физико-механические свойства определяли по стандартным методикам при скорости 10 мм/мин.

Результаты и их обсуждение

Данные исследований физико-механических свойств приведены в таблице 1.

Как свидетельствуют табличные данные ткани на основе искусственных волокон различных производителей обладали лучшими армирующими свойствами, чем белорусская ткань, основу которой составляли вискозные волокна. Этот вывод подтверждается более высокими физико-механическими свойствами препрегов, в состав армирующей системы которых входили немецкие и американские углеткани, что не противоречит данным других исследователей [5].

Наибольшими прочностью при изгобе ( $\sigma = 370,0 \text{ МПа}$ ) и модулем упругости ( $E = 13900 \text{ МПа}$ ) обладал препрег, в состав армирующей системы которого входила углеткань немецкой фирмы Saertex с поверхностной плотностью  $300 \text{ г/м}^2$  полотняного плетения. Эта ткань может быть рекомендована для пре-

прегов, применяющихся для несущих деталей изделий, где требуются высокие прочность и жесткость. Уменьшение поверхностной плотности приводило к снижению прочностных и упругих свойств, в том числе к уменьшению прогиба при разрушении. Именно этот показатель важен для препрегов, которые используются при изготовлении стопной части протезно-ортопедических изделий для нижних конечностей. Снижение прогиба при разрушении свидетельствует об ухудшении эксплуатационных свойств изделий.

Таблица 1 – Зависимость физико-механических свойств препрегов от используемого угольного компонента армирующей системы

Угольный компонент				Физико-механические свойства			
Страна производитель	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Количество филламентов	Характер плетения	Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	Модуль упругости при изгибе, МПа	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Прогиб при разрушении, мм
Беларусь (вариант сравнения)	300	2	Полотняное	169,2	6500	47,0	2,9
Германия (фирма Saertex)	300	3	Полотняное	370,0	13900	62,0	2,6
Германия (фирма Saertex)	200	3	Полотняное	260,4	10900	58,0	2,3
Германия (фирма Saertex)	350	3	Однонаправленное	210,0	5800	50,0	4,0
Германия (фирма Otto Bock)	200	3	Полотняное	235,3	7863	55,0	2,0
США (фирма Zoltek group)	200	3	Полотняное	330,0	13800	60,0	2,0

Примечание. В таблице приведены средние значения показателей. Увеличение количества филламентов и поверхностной плотности угольного компонента усложнят технологический процесс изготовления ПОИ.

Для препрегов, в состав армирующей системы которых входила американская углеткань фирмы Zoltek group, плотностью 200 кг/м<sup>2</sup> также наблюдалось снижение прогиба, но при этом прочность при изгибе и модуль упругости уменьшались очень незначительно. Эту ткань также можно рекомендовать для применения в препрегах, использующихся для изготовления несущих конструкций.

Наибольшим прогибом характеризовался препрег, в качестве армирующего угольного компонента которого использовали однонаправленную углеткань с поверхностной плотностью 350 кг/м<sup>2</sup> производства немецкой фирмы Saertex. Однако, у этого препрега были самые низкие из всех испытанных материалов упруго-прочностные свойства ( $\sigma = 210,0$  МПа;  $E = 5800$  МПа), но все же не ниже, чем у варианта сравнения. Благодаря своей гибкости препрег с армирующей системой, содержащей однонаправленную углеткань, может использоваться для стопной части ортопедических изделий.

### Выводы

Таким образом, замена угольного компонента на основе вискозных волокон в армирующей ламинатной системе полиэфирного препрега на углеткань на основе полиакрилонитрильных волокон производства немецких и американских фирм, представленных на украинском рынке, значительно увеличивает его физико-механические свойства а, тем самым, и долговечность ортопедических изделий. Применение в качестве армирующего угольного компонента углетканей полотняного плетения позволяет получить более прочный и жесткий материал, а углетканей однонаправленных – более гибкий.

Использование таких препрегов позволит изготавливать комфортные и функциональные конструкции за счет дифференцирования поверхностных свойств.

## Литература

1. Хмелевская И.О., Солнцева И.Л., Луковенко А.А. и др. Исследование влияния различных наполнителей на свойства материала препрега на основе полиэфирной смолы / Вестник НТУ «ХПИ». – 2005. – №11 – С. 103–105.
2. Солнцева И.Л., Хмелевська І.О., Луковенко О.О. та ін. Дослідження впливу різних армуючих матеріалів на властивості препрега / Вестник НТУ «ХПИ» – 2006. – №43 – С. 169–173.
3. Седов Л.Н. Технология изготовления изделий из полиэфирных премиксов и препрегов / – М.: МДНТП – 1975. – 65 с.
4. Справочник по композиционным материалам / под редакцией Дж. Любина. Превод с английского А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта. Под редакцией Б.Э. Геллера. / – М.: Машиностроение – 1988. – 446 с.
5. Мищенко С.В., Ткачѳв А.Г. Углеродные Наноматериалы. Производство, Свойства, Применение. / – М.: Машиностроение – 1988. – 320 с.

## Bibliography (transliterated)

1. Hmelevskaya I.O., Solntseva I.L., Lukovenko A.A. i dr. Issledovanie vliyaniya razlichnyh napolniteley na svoystva materiala prepreg na osnove poliefirnoy smole (Investigation of the effect of various fillers on the properties of the prepreg material based on polyester resin). Vestnyk NTU "KPI" – 2005. № 11 – P. 103–105.
2. Solntseva I.L., Hmelevska I.O., Lukovenko O.O. etc. Doslidzhenya vplyvu riznyh armuyuchih materialiv na vlastivosti prepregu (Study the effects of different reinforcing materials on the properties of the prepreg). Vestnyk NTU "KPI" – 2006. № 43 – P. 169–173.
3. Sedov L.N. Tehnologiya izgotovleniya izdeliy iz poliefirnyh premiksov i prepregov (Technology manufacture of polyester premixes and prepregs) – Moscow: MDNTP – 1975. – 65 p. (in Russian).
4. Spravochnik po kompozicionnym materialam (Handbook of composites). pod red. Dj. Lyubina. Perevod s angl. A.B. Gellera, M.M. Gelmonta. Pod red. B.E.Gellera. – Moscow: Engineering – 1988. – 446 p.
5. Mishenko S.V., Tkachov A.G. Uglerodnye nanomaterialy. Proizvodstvo. Svoystva. Primeneniye. – Moscow: Engineering – 1988. – 320 p.

УДК 658.012

Солнцева И.Л., Гришко Е.К., Белевцова Л.О., Хмелевская И.О., Луковенко О.О., Близнюк О.В.

**ЗАСТОСУВАННЯ ПРЕПРЕГУ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ КОМПЛЕКТУЮЧИХ  
ДЛЯ ПРОТЕЗНО-ОРТОПЕДИЧНИХ ВИРОБІВ**

У роботі наведені результати дослідження фізико-механічних властивостей отвердженого поліефірного препрега, що застосовується у протезно-ортопедичній галузі, в залежності від армуючої системи ламінатного типу, до складу якої входять вуглетканини на основі віскозних або поліакрилонітрильних волокон різних фірм виробників, що є на ринку України. Встановлено, що оптимальні фізико-механічні властивості препрега забезпечує вуглетканина полотняного плетіння на основі волокон виробництва Німеччини фірми Saertex.

Solnceva I.L., Gryshko E.K., Belevcova L.O., Hmelevska I.O., Lukovenko O.O., Blyznyuk O.O.

**THE APPLICATION OF THE PREPREG IN THE MANUFACTURE  
OF COMPONENTS FOR PROSTHETIC AND ORTHOPEDIC PRODUCTS**

In the article the results of research of physical-mechanical properties of hardened polyester prepreg used in prosthetic and orthotic branch, depending on reinforcing system of laminate type, composition of which is made of carbon fabrics on the basis of viscose or polyacrylonitrile fibers of different producers present in the market of Ukraine. It was established, that weaving carbon fabrics ensure optimal physical-mechanical properties to prepreg on the basis of polyacrylonitrile fibers of production of German Saertex Company. Decreasing the surface density resulted in a decrease in strength and elastic properties, including a decrease of deflection at break. This indicator is important for prepregs, which are used in the manufacture of the iambic prosthetic and orthopedic products for lower extremities. Reduced deflection at failure indicates a deterioration in performance of the article. The use of coal fiber as a reinforcing component of plain weave carbon fabric provides a more durable and rigid material, and the carbon fabric unidirectional – more flexible. The use of such prepregs will allow to make a comfortable and functional design for the differentiation of the surface properties.

Романова З.М., Косоголова Л.О., Арутюнян Т.В.

### ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗАЛКОГОЛЬНИХ НАПОЇВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИКОРΟΣЛОЇ ЯГІДНОЇ СИРОВИНИ

Одним з напрямів підвищення якості напоїв, їх конкурентної спроможності на вітчизняному ринку напоїв є оптимізація технології безалкогольних напоїв шляхом використання так званих «основ» – базових напівпродуктів, вдосконалення складу напою, надання йому профілактично-оздоровчих властивостей.

Основи для напоїв зарубіжного виробництва готують, в основному з використанням концентрованих цитрусових соків. Застосовують зазвичай шестикратно концентрований сік з вмістом сухих речовин до 65 %, пульпи не більше 5 %. При необхідності до нього додають барвники, кислоти і консерванти. Концентрати для безалкогольних напоїв вітчизняного виробництва, як правило, складаються з 2-х частин: ароматичної і екстрактивної. Екстрактивну частину готують змішуванням водно-спиртових екстрактів різноманітних трав, колера та лимонної кислоти. Розробка технологій з застосуванням «основ» є актуальною, бо їх використання у виробництві напоїв є економічним, тому що спрощується технологія та скорочуються втрати сировини.

Завданням досліджень було розроблення напою з «основами» для виготовлення безалкогольних напоїв з використанням дикорослої рослинної сировини та зернових екстрактів, відповідно відібраних за складом цінних компонентів. Наразі ніша виробництва напоїв на пряно-ароматичній сировині спеціального призначення, зокрема функціонального призначення залишається вільною. У рамках сучасних тенденцій розвитку безалкогольної промисловості особливу актуальність представляє розвиток виробництва різних концентрованих основ для безалкогольних напоїв.

Вирішення цих завдань може здійснюватися за двома напрямками:

- створення ефективних технологій з переробки рослинної сировини, що забезпечують максимальне збагачення одержуваних настоїв і екстрактів природними екстрактивними речовинами. Створення концентратів на основі екстрактів має забезпечуватися різними формами: рідкими, висококонцентрованими, пастоподібними, порошкоподібними, у вигляді гранул та ін.;
- збагачення концентрованих основ незамінними нутрієнтами та їх преміксами.

Останній напрям має практичне застосування при розробці безалкогольних напоїв різної функціональної спрямованості (в корекції харчування різних груп населення: діти, вагітні та жінки, спортсмени, робітники промислових підприємств, тощо).

Таким чином, тенденція розвитку ринку безалкогольних напоїв в Україні повинна бути орієнтована на продукти здорового харчування [1].

Створення і вдосконалення технологій концентрованих основ на натуральній основі є необхідною умовою для стабільного розвитку вітчизняного виробництва високоякісних безалкогольних напоїв [1,2,3].

Особлива увага приділяється овоче-баштанним, пряно-смаковим, зерновим, кормовим, технічним та плодово-ягідним культурам. У поєднанні з вищевказаною сировиною використовують харчові та лікарські рослини, як дикорослі, так і культивовані.

Розглядаючи перспективу розширення сировинної бази, слід звернути увагу на проблему комплексного використання сільськогосподарської сировини. Так, наприклад, є експериментальний і виробничий досвід отримання екстрактів і концентратів з бадилля моркви, буряка, хрону, петрушки, кропу, селери, листя кукурудзи, гілок і листя обліпихи, чорної і червоної смородини, вишні, груші, агрусу та ін.

Наявні літературні дані свідчать, що вегетативні частини рослин містять біологічно активних речовин не менше, а іноді і більше, ніж плоди, ягоди і овочі, а їх використання дозволяє отримувати концентрати та напої з них з м'якими, пікантними, гармонійно-індивідуальними смаковими і ароматичними відтінками. На жаль, проблема комплексного застосування зазначеної сировини практично не вирішується [2,3].

Таким чином, тенденція розвитку ринку безалкогольних напоїв в Україні повинна бути орієнтована на продукти здорового харчування.

Орієнтуючись на літературні джерела та багатий вміст цінних компонентів, було досліджено листя та стебла дикорослої калини, чорниці та малини на предмет використання добавки до концентрату безалкогольних напоїв.

**Чорниця** (*Vaccinium myrtillus* L.). Місцеві назви – чорні ягоди, чорничник. Невисокий кущик родини брусничних (15–30 см заввишки) з довгим повзучим кореневищем. Стебла висхідні або прямостоячі, розгалужені, із зеленувато-коричневою корою. Молоді гілочки зелені, гостроребристі. Листки чергові, на

дуже коротких черешках, яйцеподібні (8–20 мм завдовжки, 5–16 мм завширшки) Чорницю використовують в харчовій промисловості (для виробництва сиропів, соків, морсів, варення, джемів, наповнювачів, харчових барвників). З ягід чорниці виготовляють вино, яке має прекрасні смакові якості, високі лікувально-дієтичні властивості та гарний колір.

Чорниця відноситься до медоносів, що дає багато нектару. Чорничний мед дуже ароматний, приємного смаку, червонуватого кольору.

**Хімічний склад.** Плоди чорниці звичайної містять вуглеводи (глюкозу, сахарозу, фруктозу, пектини), органічні кислоти (лимонну, молочну, яблучну, янтарну, щавелеву), вітаміни (А, В, С, РР), флавоноїди (гіперин, кверцетин, астрагалін), антоціани (дельфінідин, мальвідин, ідаїн, міртилін), феноли, мінеральні речовини макро- та мікроелементи (залізо, манган, селен, кобальт, мідь, золото, срібло, цинк). Плоди чорниці містять багато дубильних речовин, рутину.

Листя чорниці звичайної мають протидіабетичні властивості завдяки наявності в ньому глікозидів (міртилін та неоміртилін).

Спільні американо-китайські дослідження виявили речовину, знайдену в листі чорниці високорослої (лохині), яка може продовжити термін зберігання плодів фруктів і ягід, а також здатна підвищити в них рівень антиоксидантів [3].

**Малина європейська.** Малина звичайна або просто малина (*Rubus idaeus*, місцеві назви: малина червона, маличник, ведмежа ягода) – кущ родини розових (*Rosaceae*) 1–2 м заввишки з річними вегетуючими пагонами і здерев'янілими дворічними стеблами, які утворюють квітконосні гони.

У малині містяться пектини, які допомагають виводити з організму через кишковик різні шкідливі речовини, холестерин у тому числі, і радіоактивні елементи, тому малину рекомендують людям, що працюють у шкідливих умовах. Кумарини, що містяться в малині, покращують згортання крові, і знижують рівень протромбіну. Кумарини зосереджені в листі і в гілках. Антоціани зміцнюють капіляри, і зменшують схильність до склерозу. Фітостерини зменшують вірогідність розвитку атеросклерозу. Міститься в складі малини калій сприяє поліпшенню стану людей з хворим серцем, при цьому калій діє як сечогінне. У малині є йод, який благотворно впливає при бронхіті, викликаючи відхаркування.

**Калина.** (*Viburnum opulus*) – гіллястий кущ або невелике (2–4 м заввишки) дерево родини жимолосцевих.

Калина звичайна є ботанічним символом України. Калина біля хати – найперша і найзначніша ознака оселі українця. В деяких регіонах України існує гарний звичай: біля щойно зведеної оселі на примітному місці в першу чергу висаджують калину.

В корі калини ідентифіковано до 9 сполук іридоїдної структури. Ці сполуки відносяться до С10 іридоїдів і отримали назву опулусіридоїди.

**Хімічний склад.** Вперше дані щодо вивчення хімічного складу калини були опубліковані у 1844 р. Н. Kremer, який повідомив про виділення ним із кори калини сливолистої гіркої речовини вібурніну. Пізніше Н. van Allen у 1880 р. і Т. Shenmann у 1897 р. також повідомили про виділення із кори калини сливолистої аналогічного глікозиду, який мав одночасно антиспастичну і маткову кровозупинну дію. Пізніше подібний глікозид був виділений Е. Cowmann Donijov у 1902 р. із листків *Viburnum tinus* та кори *Viburnum rufidulum* Raf., *Viburnum alnifolium* Marsh. і *Viburnum trilobum* L. У 1976 р. Г. Вигоров спільно зі співавторами повідомили про наявність вібурніну у плодах *Viburnum opulus* L. При цьому глікозид вібурнін було виділено у вигляді жовто-помаранчевого аморфного порошку, що мав температуру плавлення від 65 до 72 °С. Крім цього даний глікозид був гірким на смак і мав специфічний запах, що нагадував запах валеріанової кислоти. При гідролізі виділеного глікозиду отримували глюкозу та маннозу, а також мурашину, оцтову, валеріанову та ізовалеріанову кислоти. Аглікон, вище вказаного глікозиду, було одержано у вигляді коричнюватої жирної рідини.

За допомогою спектрофотометричного методу встановлено, що кількісний вміст вітаміну К в корі калини становить 28–31 мкг/г.

Крім вітаміну К плоди калини є джерелом аскорбінової кислоти, або вітаміну С та каротиноїдів.

Чай з калиною, малиною або з їх листочками, заварені разом з заваркою заспокоює болі в шлунку і в кишковик при гастриті. Малина містить багато міді, а мідь входить до складу багатьох антидепресантів, тому малину потрібно їсти тим людям, у яких робота пов'язана з великим нервовим напруженням. За рахунок того, що малина містить вітаміни А, Е, РР, С – підвищується тонус і покращується самопочуття.

Хімічний склад листочків малини, калини (кори) і чорниці багатий на: антоціанідіни і антоціани – водорозчинні флавоноїди (потужні антиоксиданти), фітостерини (кемпферол), дубильні речовини, ефірні масла, борнеол, антоціани: каллістефін, хризантемін, леткі сполуки: вербенон, цитронелол, міртенол, еugenol, ванілін, органічні кислоти (лимонна, яблучна, корична, гідроксибензойна, галова, хлорогенова, саліцилова) та їх ефіри, а також елагову кислоту, яка є природним фенольним антиоксидантом. Аскорбінова кислота, або вітамін С, сильний антиоксидант і хелатуючий агент.

В результаті літературного огляду і зважаючи на значимість використання рослинних екстрактів, автори прийшли до висновку, що використання калини, малини і чорниці, а саме екстракту листочків і гілочок, багатих на фенольні компоненти і кумарини та вітаміни (вітамін С, рутин) буде доречним при виготовленні безалкогольних напоїв (рис. 1,2,3).

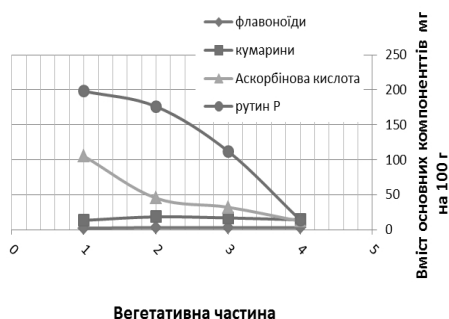


Рисунок 1 – Залежність вмісту компонентів калини від вегетативного місцезнаходження

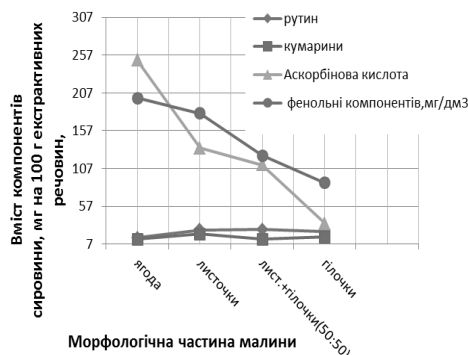


Рисунок 2 – Залежність вмісту компонентів від знаходження в морфологічних частинах малини

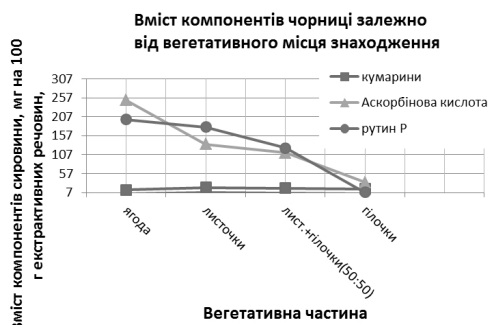


Рисунок 3 – Залежність вмісту компонентів чорниці

Для попередньої оцінки якісного складу водної чи спиртової витяжки чорниці, малини і калини (листочка і пагінці) проводили загальноприйняті якісні реакції з наступним визначенням фенольних компонентів спектрофотометричним методом. Визначення суми поліфенолів проводили спектрофотометричним методом шляхом вимірювання показника абсорбції досліджуваної проби після додавання реактиву Фолін-Чокальтеу і 20 %-ного розчину натрію карбонату. Оптичну густину вимірювали у кюветі з товщиною 10 мм на спектрофотометрі СФ-46 за відповідної довжини хвилі. Перерахунок відсоткового вмісту суми поліфенолів проводили на хлорогенову кислоту. [4,5]. Вміст фенольних сполук, у тому числі рутину у порошках, отриманих з малини і полуниці представлений у таблиці 1.

Таблиця 1 – Вміст фенольних сполук

Зразок	Варіант обробки	Порошок чорниці, мг/дм <sup>3</sup>		Порошок калини, мг/дм <sup>3</sup>	
		Сума фенольних сполук	Рутин	Сума фенольних сполук	Рутин
1	Екстракт водний, підігрітий до 100 <sup>0</sup> С, витриманий 10 хв.	234	102	150	30
2	Екстракт водний, доведений до кипіння і прокип'ячений протягом 3-4-х хвилин	258	134	167	46
3	Витримування ВДП у 55% водно-спиртовій суміші протягом 2-х діб	263	184	180	64
4	Витримування ВДП у 70% водно-спиртовій суміші протягом 2-х діб	240	180	167	58

Зразок №2, що належить екстракту водному порошку з морфологічних частинок калини і полуниці, був доведений до кипіння і прокип'ячений протягом 3–5 хвилин за вмістом фенольних компонентів і за ароматом підійшов для подальших досліджень оскільки спиртові екстракти є матеріалозатратними. Далі були проведені дослідження часу екстракції кип'ятінням, про що свідчать дані таблиці 2.

За даними проведеної органолептичної оцінки досліджуваних зразків екстракту порошку малини, які наведено у табл. 2, було визначено, що екстракт, який готується шляхом кип'ятіння подрібнених листочків та гілочок у воді протягом 3-х хв., має найкращі органолептичні властивості у порівнянні з іншими зразками, отже цей режим приготування екстракту малини є оптимальним.

Таблиця 2 – Органолептичні показники екстракту малини

Тривалість кип'ятіння, хв.	Колір	Аромат	Смак
1	Світлий, солом'яно-жовтий, слабо насичений, без сторонніх помутнінь	слабкий, з відтінками спецій	слабкий, ненасичений, трав'янистий
3	світлий, солом'яно-жовтий, середньої інтенсивності, без сторонніх помутнінь	середньої інтенсивності, присутні відтінки спецій та свіжого сіна;	приємний, середньо насичені відтінки лугових трав
5	насичений, солом'яно-жовтий, з зеленуватим відтінком, без сторонніх помутнінь	інтенсивний, яскраво виражені відтінки прянощів та свіжого сіна	насичений, з легкою гіркуватістю, з яскраво вираженою терпкістю
8	насичений, солом'яно-жовтий, з зеленуватим відтінком, без сторонніх помутнінь	інтенсивний, присутні відтінки горілого	насичений, з неприємною гіркотою і терпкістю

Подальшим етапом досліджень було приготування соків та морсів. Для одержання соку було взято 500 г ягід малини. Сік одержували шляхом віджиму вручну через марлю. Після одержання соку проводилась водна екстракція вижимок ягід сировини (приготування морсу). Суть проведеного дослідження полягає у визначенні оптимального режиму і способу приготування екстракту вижимок ягід, при застосуванні яких приготовлений морс матиме найкращі органолептичні показники. Водна екстракція проводилась за двома різними способами: екстракцією вижимок гарячою водою при температурі 100 °С та екстракцією вижимок гарячою водою з подальшим додаванням чабрецю або м'яти наприкінці кип'ятіння.

Для приготування другого досліджуваного зразку морсу з малини, калини і чорниці вижимки заливали кип'ячою дистильованою водою у кількості 1 дм<sup>3</sup>, кип'ятили протягом 2 хв., і наприкінці кип'ятіння додали по 2,0 г чабрецю або м'яти, скоринки лимону, кориці. Далі проводили органолептичну оцінку досліджуваних зразків морсу (табл. 4). Відповідно до результатів проведених органолептичних досліджень було прийняте рішення в подальшому для приготування малинового напою використовувати морс малини без додаванням м'яти, оскільки він і так має виражений, гармонійний аромат і смак малини; щодо результатів проведених органолептичних досліджень з морсом чорниці, було прийняте рішення в подальшому для приготування напою з чорниці використовувати морс з додаванням лимонної скоринки, оскільки він має більш виражений, гармонійний аромат і смак. Для приготування напою з морсом калини було прийняте рішення в подальшому для приготування напою з калини використовувати морс з додаванням лимонної цедри і кориці, оскільки він має більш виражений, гармонійний аромат і смак.

За результатами дослідів встановлено, що кількості: 0,75 г та 1,0 г в 100 см<sup>3</sup> водного екстракту листочків досліджуваної сировини найкраще відповідає поставленій задачі. Для зручності приготування розчинів був відібраний зразок 1,0 г в 100 см<sup>3</sup> (1 %-вий водний розчин). Екстракт порошку чорниці з експерименту був виключений через інтенсивний трав'яний відтінок в ароматі та такого ж присмаку. Зі збільшенням кількості екстракту трави колір стає більш інтенсивним, прозорість не змінюється, аромат посилюється, смак також. Зразок №3 найбільш розкритий у сенсорному плані. Найкращі зразки: основа (ПСЕ) 3 г +3,0 см<sup>3</sup> 1%-го розчину малини та основа (ПСЕ) 4 г +3,5 см<sup>3</sup> 1%-го розчину калини. Зі збільшенням концентрацій розчинів трави колір стає інтенсивнішим, прозорість не змінюється, аромат посилюється, смак стає більш інтенсивним. Солодкість зростає, проте загальна сенсорна оцінка падає, тому необхідно здійснювати підбір підсолоджувача. Як підсолоджувач був обраний глюкозо-фруктозний сироп (ГФС) Під час приготування купажного сиропу компоненти купажу вносили при постійному перемішуванні в наступній послідовності: цукровий сироп, екстракт, морс та сік. Потім купажний сироп на-



стоювали протягом декількох годин для формування та взаємодії складових. Після настоювання визначали органолептичні показники купажного сиропу (табл. 3) та вміст у ньому сухих речовин (табл. 4).

Таблиця 3 – Витрати компонентів на приготування основи для купажу на 1 дал готового напою «Літо» (з підбором кількості ГФС)

№ Зразка	Компонент та його кількість			
	ПСЕ, г	Екстракт порошку калини (водний розчин), см <sup>3</sup>	Патока (глюкозо-фруктозний сироп), г	Ароматизатор, см <sup>3</sup>
1	200,0	3,0	100,0	1,0
2	300,0	3,5	100,0	2,0
3	300,0	3,0	200,0	2,0
4	300,0	3,5	250,0	2,0
5	300,0	3,5	300,0	2,5

Під час приготування купажного сиропу компоненти купажу вносили при постійному перемішуванні в наступній послідовності: ГФС, полісолодовий екстракт, екстракт порошку калини (малини). Потім купаажний сироп настоювали протягом декількох годин для формування та взаємодії складових. Після настоювання визначали органолептичні показники напою після розведення купажного сиропу (табл. 4).

Таблиця 4 – Органолептичні показники купажного сиропу

№ зразка	Колір	Запах	Смак
1	Солом'яний, з легкою замутненістю	середньої інтенсивності, добре відчувається аромат ячмінного екстракту	недостатньо виражений, не солодкий
2	світло-жовтий з легкою замутненістю	середньої інтенсивності з відчутними хлібними тонами та меду	більш злагоджений, не надто солодкий, з тонами цитрусу, або лісових ягід(залежно від ароми) в післясмаку, з яскраво вираженою солодкістю
3	Середньо насичений жовтий, замутнений	інтенсивний аромат меду, з добре вираженими тонами цитрусу	солодкий, з легкою кислинкою, гармонійний
4	Середньо насичений жовтий, замутнений	інтенсивний хлібний, з добре вираженими тонами цитрусу	насичений, надто солодкий, з тонами цитрусу, солодовий
5	Середньо насичений жовтий, замутнений	інтенсивний аромат солодового екстракту, з добре вираженими тонами цитрусу	насичений, надто солодкий, з тонами цитрусу

Таблиця 5 – Фізико-хімічні показники готового напою на основі екстракту калини, ПСЕ та ГФС

№ зразка	Кислотність, см <sup>3</sup> 1н розчину NaOH	Вміст СР, %
1	1,8	6,87
2	1,62	7,53
3	1,61	8,18
4	1,57	8,15
5	1,59	7,99

За результатами досліджень підібрана рецептура напою «Літо»:

Сухі речовини напою близько 8 %, кислотність 1,6 [6,7].

Для розширення асортименту безалкогольних напоїв авторами запропоновано використовувати дикорослу ягідну сировину таку як калина, чорниця, малина. Екстракти подрібнених листочків (порошку) калини, чорниці і малини – джерело біодоступних активних сполук (фенольних компонентів, кумаринів, аскорбінової кислоти) які через свою рослинну природу м'яко діють на організм та не визивають побіч-

ної дії до того ж, екстракт листочків та гілочок калини, малини – нетрадиційна сировина, до цих пір у виробництві напоїв не використовувався.

Таблиця 6 – Рецептúra напою на 100 дал

Назва сировини	Одиниця виміру	Вміст сухих речовин у сировині, % мас.	Норма витрат	Вміст сухих речовин за нормами витрат, % мас
Глюкозо-фруктозна патока (сироп)	кг	65,0	38,00	24,70
Полісолодовий екстракт	кг	75,0	65,18	56,39
Морс калини	дм <sup>3</sup>	8,8	10,0	6,8
Кислота лимонна	кг	90,97	1,08	0,98
Настій калини (гілок та листя)	кг		0,30	
Ароматизатор "Ісінді"	кг		0,20	
Кількість кислоти, внесеної з полісолодовим екстрактом	кг	0,05	75,18	0,04
Вода	дм <sup>3</sup>	до 1000,00		
Діоксид вуглецю	кг		4,15	
Всього сухих речовин у напої	кг			82,07

Також розроблено новий напій: «Літо». В якості нетрадиційної сировини, яка використовується для приготування напою екстракт з гілочок і листя малини, який відрізняється підвищеним вмістом біологічно активних речовин також в якості нетрадиційної сировини, яка використовується для приготування напою «Літо» обрано полісолодовий екстракт і екстракт листя калини, морс(сік). Авторами розроблена технологія приготування основ для напоїв за підібраними рецептурами. Визначено оптимальну дозу внесення екстракту порошку листочків малини у купаажний сироп становить 3,0 см<sup>3</sup> 1%-го розчину трави та екстракту полуниці – 3,50 см<sup>3</sup> 1 %-го розчину г на 100 мл напою.

Авторами запропоновано приготування купаажного сиропу холодним способом, тому що при даному способі зберігаються натуральний смак і аромат сировини, яка використовується для приготування обраного асортименту готової продукції.

#### Література

1. Берестень Н.Ф. Функциональность в безалкогольных напитках – концепция и инновационный проект компании «Дёлер» / Н.Ф. Берестень, О.Г. Шубина // Пиво и напитки, 2000. – №5. – С. 68–69.
2. Домарецький В.А. Технологія екстрактів, концентратів та напоїв із рослинної сировини: підручник / В.А. Домарецький, В.Л. Прибильський, М.Г. Михайлов. К.: – Вінниця: Нова Книга, 2005. – 408 с.
3. Кошова В.М. Нові аспекти використання нетрадиційної сировини/ В.М. Кошова, Т.В. Зубицька // Харчова промисловість, 2008. – №6. – С. 57–59.
4. Луценко Ю.О. Визначення кількісного вмісту суми поліфенолів у листі плюща звичайного / Ю.О. Луценко, І. Матлавська, Р.Є. Дармограй // Клінічна фармація, фармакотерапія та медична стандартизація, 2010. – №1. – С. 13–14.
5. Ковальов С.В. Кількісне визначення фенольних речовин / С.В. Ковальов, С.В. Романова // Вісник фармації, 2009. – №9 – С. 23–25.
6. Барвники натуральні харчові. Технічні умови: ДСТУ 3845-99 [Чинний від 1999-06-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 1999. – 25 с. – (Національний стандарт України).
7. Напій безалкогольні. Загальні технічні умови: ДСТУ 4069:2002. – [Чинний від 2002-10-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2002. – 69 с. – (Національний стандарт України).

#### Bibliography (transliterated)

1. Beresten N.F. Funktsionalnost v bezalkogolnyih napitkah – kontseptsiya i innovatsionnyiy projekt kompanii «Döler». N.F. Beresten, O.G.Shubina. Pivo i napitki, 2000. – #5. – P. 68–69.

2. Domarets'kyi V.A. Tekhnolohiya ekstraktiv, kontsentrativ ta napoyiv iz roslynnoyi syrovyny: pidruchnyk. V.A. Domarets'kyi, V.L. Prybyl's'kyi, M.H. Mykhaylov. K.: – Vinnytsya: Nova Knyha, 2005. – 408 p.
3. Koshova V.M. Novi aspekty vykorystannya netradytsiynoyi syrovyny. V.M. Koshova, T.V. Dubyts'ka. Kharchova promyslovis't', 2008. – #6. – P. 57–59.
4. Lutsenko Yu.O. Vyznachennya kil'kisnoho vmistu sumy polifenoliv u lysti plyushcha zvychnoho. Yu.O. Lutsenko, I. Matlavs'ka, R.Ye. Darmohray. Klinichna farmatsiya, farmakoterapiya ta medychna standartyzatsiya, 2010. – #1. – P. 13–14.
5. Koval'ov S.V. Kil'kisne vyznachennya fenol'nykh rehovyn. S.V. Koval'ov, S.V. Romanova. Visnyk farmatsiyi, 2009. – #9 – P. 23–25.
6. Barvnyky natural'ni kharchovi. Tekhnichni umovy: DSTU 3845-99 [Chynnyy vid 1999-06-01]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1999. – 25 p. – (Natsional'nyy standart Ukrainy).
7. Napoyi bezalkohol'ni. Zahal'ni tekhnichni umovy: DSTU 4069:2002. – [Chynnyy vid 2002-10-01]. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2002. – 69 p. – (Natsional'nyy standart Ukrainy).

УДК 663

Романова З.Н., Косоголова Л.О., Арутюнян Т.В.

**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИКОРАСТУЩЕГО ЯГОДНОГО СЫРЬЯ**

В работе рассмотрены направления повышения качества безалкогольных напитков, их конкурентоспособности на отечественном рынке путем оптимизации технологии с использованием полупродуктов на основе дикорастущего ягодного сырья.

Romanova Z., Kosogolova L., Arutyanyan T.

**FEATURES OF TECHNOLOGY SOFT DRINKS WITH THE USE OF WILD BERRIES**

The paper considers directions of increase the quality of soft drinks, their competitiveness in the domestic market by optimizing technology using intermediates based on wild berries.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОТ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ СУДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СУДОХОДСТВА**

Территориальные воды Украины относятся к Черноморскому бассейну. Черное море характеризуется средней соленостью воды в поверхностных слоях 18 ‰ и уникальным химическим составом воды. В тоже время северная часть Черного моря и Азовское море являются зонами многолетнего и периодического загрязнений. Не смотря на то, что кратко и долгосрочное воздействие многих вредных веществ, непосредственно сбрасываемых в море, или попадающих в него косвенным путем еще недостаточно изучено, дальнейший рост загрязнений морской природной среды недопустим.

Одной из угроз экономической безопасности Черноморского бассейна являются потенциально опасные суда: танкеры для транспортировки нефти, химикалий и сжиженных газов.

С целью обеспечения безопасности мореплавания в Украине создана единая система мониторинга надводной обстановки с автоматизированной идентификационной системой на Черном и Азовском морях в зоне ответственности Украины [1].

По навигационно-географическим условиям дедевейт танкеров, идущих в порты Черного моря не может превышать 150 тыс. т, из-за глубин в проливе Дарданеллы. Другой особенностью современных транспортных морских технологий является то, что в настоящее время суда до 50 % эксплуатационного времени вынуждены проводить в портах [3]. Таким образом, на порты приходится существенная часть общего времени транспортировки грузов и, соответственно, значительная доля транспортных расходов.

В этой связи задачу обеспечения экономической безопасности от потенциально опасных судов целесообразно рассматривать как две, для условий:

- стоянки в порту;
- на линии.

Здесь уместно особо подчеркнуть еще одну задачу, характерную для танкеров-газовозов, а именно – тепловое воздействие на груз. Сжиженные газы (в основном бутан и пропан) перевозятся в изолированных цистернах при температуре ~231 К, а природный газ (метан) при еще более низкой температуре 111 К. Каждая такая цистерна изолирована от корпуса судна слоем тепловой изоляции толщина которого достигает 1 м. Тем не менее, полностью избежать теплового воздействия не удается, в результате чего в среднем за сутки испаряется от 0,2 до 0,25 % массы груза. На танкерах – газовозах этот испарившийся природный газ используют как топливо энергетических установок.

Учитывая то, что практически вся акватория Черного моря находится в субтропической зоне, где максимальные дневные температуры воздуха в летний период достигают 42 °С и могут удерживаться от нескольких дней до нескольких недель, задачи теплового воздействия на элементы конструкции грузовых цистерн и груз представляется немаловажным.

При этом главной задачей все-таки является ввод судна в порт в зависимости от навигационной обстановки и погодных условий.

В Черном море существует система мониторинга судоходства, которая в территориальных водах Украины обеспечивает проводку судов находящихся на линии и заход в порты. При этом порт остается наиболее опасным участком судоходства. Следует особо подчеркнуть, что важнейшие порты Ялта и Севастополь имеют узкости при входе по рекомендованным маршрутам шириной 50 и 100 м. Кроме того, ряд крупных исторически сложившихся морских портов лежит в удалении 50–100 км и более от моря, в устьях больших рек. Такое расположение на протяжении столетий рассматривалось как решающее преимущества портов, поскольку обеспечивало интеграцию внутренней водной сети и морского судоходства. Поэтому задача обеспечения захода в порты распространяется и на внутренние воды, а именно Днепро-Бугский лиман порт Николаев, где осуществляется обработка обычных и опасных грузов, а в перспективе и сжиженный газ.

Для возможного использования системы мониторинга судоходства для обеспечения экологической безопасности от угроз потенциально опасных судов необходимо разработать систему информационного обеспечения работы вахтенной службы системы мониторинга, которая поддерживает с судном, находящимся в критических условиях или которое может оказаться в потенциально опасной ситуации. В соответствии со складывающейся навигационной обстановкой и погодными условиями вахтенная служба

предлагает капитану судна необходимую и дополнительную информацию и возможные варианты предотвращения опасности.

Для осуществления таких функций система мониторинга судоходства необходимо дополнить:

1. Имитационной моделью параметров ветра и морского волнения для соответствующих зон и портов;
2. Моделью влияния гидрометеорологических условий (их параметров) на показатели и характеристики пропульсивных установок судов;
3. Методикой расчета пропульсивных показателей судна по аналогичным типовым данным судов подобного класса.

Структурная схема такой подсистемы системы мониторинга судоходства представлена на рис. 1.

На основе совокупности моделей и методики представляется возможным определить критические гидрометеорологические параметры и показатели пропульсивной установки для выработки рекомендаций по предотвращению морских происшествий и катастроф.

Первая из перечисленных моделей основывается на имитации неблагоприятного ветра и морского волнения и оценки изменения ходовых качеств судна [3]. Информационную базу её составляют статистические сведения о скоростях и направлениях ветра, высоте волн трехпроцентной обеспеченности, полученные в результате обобщения наблюдений, проводимых гидрометеорологическими станциями и постами, а также штурманским составом судов для нужд мореплавания. Эти характеристики условий плавания носят сугубо вероятностный характер, в большинстве случаев предоставлены в виде частотных таблиц по четвертным румбам. Тем не менее, эти данные позволяют определить представительные условия – наиболее «жесткие» и «мягкие» для данного района.

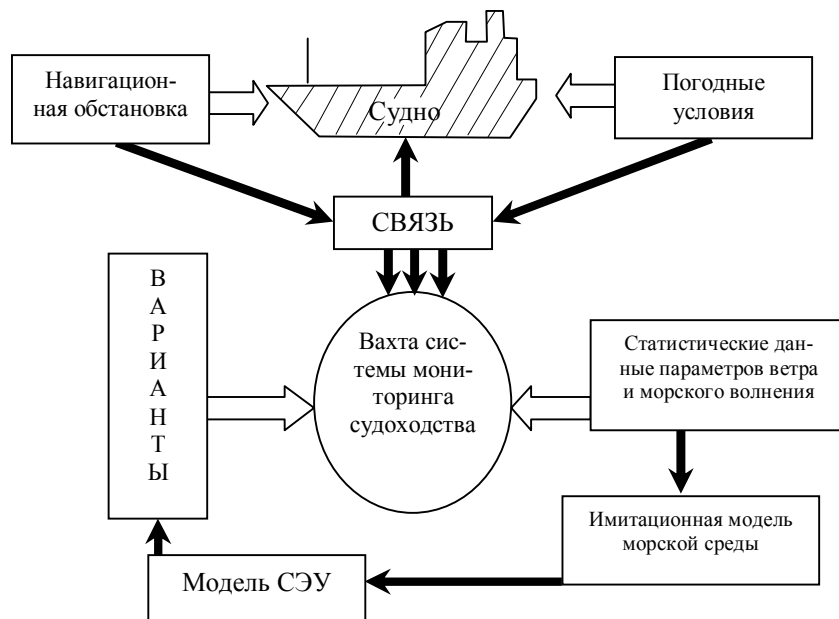


Рисунок 1 – Структурная схема подсистемы мониторинга судоходства

Дополнительное ветровое сопротивление движению судна становится заметным при скорости ветра 6 ... 10 м/с и проявляется в наибольшей степени при её практических максимальных значениях 18 ... 22 м/с [2, 3]. Эти своего рода практические занятия представляют собой интерес при исследованиях, связанных с определением влияния ветра на ходовые качества судов.

Морское волнение более существенно влияет на судно.

Статистические сведения могут быть представлены в виде уравнений обратных интегральных функций вида

$$\xi_g = \frac{\sum_{f=1}^F P_f e^{f-1}}{\sum_{m=1}^M q_m e^{m-1}}, \quad (1)$$

где  $f = 1, 2, \dots, F$ ;  $m = 1, 2, \dots, M$ ;  $P_f$  – физическая (статистическая, эмпирическая) вероятность величины  $\xi_{\sigma}$ .

Полученные таким образом уравнения используют для определения случайных сочетаний направлений ветра ( $q_B$ ) и его скорости  $V_B$  и высоты волн трехпроцентной обеспеченности  $h_{3\%}$ . Определение сочетаний  $q_B$ ,  $V_B$  и  $h_{3\%}$  осуществляется для участков рейсовых линий и для условий портов.

Особо подчеркнем, что при задании  $h_{3\%}$  необходимо учитывать то, что реализация этой величины удовлетворительна, если она меньше высоты развитых волн  $h_{\max}$  при данной скорости ветра [3]. По имеющимся рекомендациям [7]  $h_{\max}$  можно определить по выражению

$$h_{\max} = 0,1V_B^{1,452}, \quad (2)$$

где  $V_B$  – скорость ветра, м/с.

Упомянутая методика расчета пропульсивных показателей судна по аналогичным типовым данным судов подобного класса представляет практический интерес ещё и потому, что основные размерения судов одного класса могут отличаться. Это задача может быть решена на основе функциональных подходов, изложенных в [6], или окружного подхода [4], заключающегося в применении подобия.

В заключении отметим, что в результате решения перечисленного комплекса задач вахтенная служба системы мониторинга судоходства будет иметь дополнительную информацию по навигационной обстановке, скорости ветра и волнения, что послужит информационным обеспечением для выработки вариантов возможных решений капитаном судна и, таким образом не допустит морских происшествий и катастроф.

### Литература

1. «О создании единой системы мониторинга надводной обстановки с использованием автоматизированной идентификационной системы на Черном и Азовском морях в зоне ответственности Украины» Приказ Мининфраструктуры Украины. [Электронный ресурс]: – 2012. – Режим доступа: [www.korabel.ru](http://www.korabel.ru).
2. Кацман Ф.М. Пропульсивные качества морских судов / Ф.М. Кацман, А.Ф. Пустошный, В.М. Штумиф. – Ленинград: Судостроение, 1972. – 512 с.
3. Шостак В.П. Имитационное моделирование судовых энергетических установок / В.П. Шостак, В.И. Гершаник. – Ленинград: Судостроение, 1988. – 256 с.
4. Анипко О.Б. Об одном методе прогнозирования скорости судна на ранних этапах его проектирования // О.Б. Анипко, Г.Ф. Шаблий / Сб. трудов Академии ВМС им. П.С. Нахимова. – Севастополь: Акад. ВМС им. П.С. Нахимова, 2010. – № 4 (4) – С. 34–38.
5. Анипко О.Б. Судовые энергетические установки. Часть 1. Тепловые и конструктивные расчеты дизелей / О.Б. Анипко, С.В. Тараненко. – Севастополь: Акад. ВМС им. П.С. Нахимова, 2010. – 60 с.
6. Ван-Ламмерен В. Сопrotивление, пропульсивные качества и управляемость судов / В. Ван-Ламмерен, Л. Трост, Дж. Конинг. – Ленинград: Судпром ГИЗ, 1957. – 386 с.
7. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Ч.III. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. – 150 с.

### Bibliography (transliterated)

1. «O sozdanii edinoi sistemyi monitoringa nadvodnoy obstanovki s ispolzovaniem avtomatizirovannoy identifikatsionnoy sistemyi na Chernom i Azovskom moryah v zone otvetstvennosti Ukrainyi» Prikaz Mininfrastruktury Ukrainyi. [Elektronnyiy resurs]: – 2012. – Rezhim dostupa: [www.korabel.ru](http://www.korabel.ru).
2. Katsman F.M. Propulsivnyie kachestva morskikh sudov / F.M. Katsman, A.F. Pustoshnyiy, V.M. Shtumif. – Leningrad: Sudostroenie, 1972. – 512 p.
3. Shostak V.P. Imitatsionnoe modelirovanie sudovyih energeticheskikh ustanovok. V.P. Shostak, V.I. Gershanik. – Leningrad: Sudostroenie, 1988. – 256 p.

4. Anipko O.B. Ob odnom metode prognozirovaniya skorosti sudna na rannih etapah ego proektirovaniya. O.B. Anipko, G.F. Shabliy. Sb. trudov Akademii VMS im. P.S. Nahimova. – Sevastopol: Akad. VMS im. P.S. Nahimova, 2010. – # 4 (4) – P. 34–38.
5. Anipko O.B. Sudovyye energeticheskie ustanovki. Chast 1. Teplovyie i konstruktivnyie raschetyi dizeley. O.B. Anipko, S.V. Taranenko. – Sevastopol: Akad. VMS im. P.S. Nahimova. 2010. – 60 p.
6. Van-Lammeren V. Soprotivlenie, propulsivnyie kachestva i upravlyaemost sudov. V. Van-Lammeren, L. Trost, Dzh. Koning. – Leningrad: Sudprom GIZ, 1957. – 386 p.
7. Gidrometeorologicheskie nablyudeniya na morskikh stantsiyah. Nastavleniya gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam. Ch.III. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971. – 150 p.

УДК 629.0.001

Шаблій Г.Ф., Аніпко О.Б.

### **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВІД ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ СУДЕН З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СУДНОПЛАВСТВА**

Наведено структуру підсистеми, яка, враховуючи навігаційну обстановку та природні умови, дозволяє розробляти варіанти рішень для капітанів потенційно небезпечних суден, що спостерігаються системою моніторингу судноплавства. Запропоновано підхід щодо обробки статистичних даних швидкості повітря та висоти хвиль для визначення їх критичних значень.

Shabliy G.F., Anipko O.B.

### **ENVIRONMENTAL SAFETY OF POTENTIALLY HAZARDOUS SHIPS MONITORING SYSTEM**

The structure of the subsystem, which, given navigational and environmental conditions allows the development of options for making potentially dangerous captains of ships observed monitoring system navigation. An approach for handling statistics air speed and height of the waves to determine their critical values.

**СУЧАСНІ ЄВРОПЕЙСЬКІ ВИМОГИ ДО ЯКОСТІ СОНЯШНИКОВОЇ ТА КОРИАНДРОВОЇ ОЛІЇ**

Досить тривалий час Україна є однією з найбільших країн постачальників соняшникової олії в усьому світі. За останні декілька років Україна не тільки значно збільшила обсяги виробництва та експорту рослинних олій, а також розширила географію поставок [2].

У період з 2008 по 2013 рр. виробництво соняшникової олії збільшувалося з кожним роком в середньому майже на 10 %. У 2013 р. виробництво соняшникової олії в структурі загального виробництва всіх видів рослинних олій займає 96,3 %, виробництво соєвої олії – 2,7 %, ріпакової – 1 % [2].

В Україні виробництво соняшникової олії є найважливішою з галузей агропромислового комплексу. У структурі обсягу виробництва всіх олійних культур соняшник займає більше 90 %, а в структурі всіх посівних площ – близько 10 %. Соняшник вирощується майже у всіх областях, і найбільше в Південних і Центральних областях. Останнім часом спостерігається зниження врожайності соняшнику, в середньому щорічно на 7 %. Це пов'язано з виснаженням земель і порушенням агротехнології. Не дивлячись на це, Україна продовжує займати провідні позиції серед країн виробників і експортерів соняшникової олії. Сезон 2013–2014 років показав чітку тенденцію зростання продуктивності виробництва олій, і склав приблизно 16 млн. тонн. Варто зазначити, що величезна частка виробництва нерафінованої соняшникової олії в світі припадає на Україну. Також експерти відзначають, що в 2013–2014 роках загальне виробництво олійних культур в Україні становить приблизно 15 млн. тонн.

Рослинну олію в Україні використовують 97–98 % сімей, абсолютна більшість яких (90 %) віддають перевагу соняшниковій олії, використовуючи її як для смаження, так і для заправки салатів і приготування домашніх майонезів або консервів. Але все частіше спостерігається використання нетрадиційних для України рослинних олій: оливкової, пальмової, соєвої та ін. Серед них слід відмітити жирну коріандрову олію (ЖКО) з насіння *Coriandrum sativum*, яка є перспективним натуральним інгредієнтом харчових продуктів [3].

Відповідно до того, що Україна – один з найбільших виробників і експортерів рослинних олій, країни імпортери висувають різні вимоги щодо якості виробленої продукції. Так, наприклад, головною вимогою, яку висувають країни Євросоюзу, є найсуворіший контроль вмісту мінеральних олів. Китай, наприклад, все частіше висуває вимоги з приводу дослідження рослинних олій на вміст технічних розчинників, ГМО, та ін. [2].

Застосування тих чи інших методів і стандартів безпосередньо залежить від вимог контракту, який був укладений між країною-постачальником і споживачем. У наш час все частіше великі виробники рослинних олій використовують контракти FOSFA.

FOSFA – це професійна міжнародна організація з торгівлі оліями, насінням олійних культур і жирами, при якій діє арбітражний орган, що ексклюзивно розглядає відповідні питання і має базу членів більше 970 в 79 країнах світу [6].

Абревіатура ISO на етикетці вже давно стала асоціюватися у покупця з гарантом високої якості продукту. ISO (International Organization for Standardization) – міжнародна організація зі стандартизації. Ця організація розробляє стандарти, дотримання яких гарантує, що продукти та послуги є безпечними, якісними і надійними, а виробничі процеси побудовані на використанні гранично ефективних ресурсів з мінімальним впливом на навколишнє середовище. Більшість стандартів ISO прийняті в багатьох країнах світу, в тому числі і в Україні. Українська національна версія стандартів називається ДСТУ ISO. Наявність сертифікату ISO викликає у споживача впевненість у безпеці придбаної продукції [5].

Наприклад, одним з останніх нововведень в стандартизації якості соняшникової олії є стандарт ДСТУ ISO 14024, який все частіше використовується великими підприємствами при виробництві [1]. Цей стандарт встановлює принципи і методи, що застосовуються для розробки програм екологічного маркування типу 1, включаючи вибір категорій продукції, екологічних критеріїв продукції та її функціональних характеристик, а також для оцінки та демонстрації відповідності. Цей стандарт також встановлює процедури сертифікації для присвоєння цього маркування.

У наш час все більше і більше людей звертають увагу на натуральність виробленої продукції та на її екологічність. Щоб задовольнити вимоги споживача великі виробники соняшникової олії все частіше використовують стандарт ДСТУ ISO 14024 у виробництві. Ця сертифікація вже визнана більш ніж в 60 країнах світу, в тому числі в країнах Європейського Союзу та США.

Застосування даного стандарту у виробництві дає право на використання маркування готової продукції. Маркування свідчить про екологічність продукту, а саме про відсутність ГМО, наявності лише хар-



чових добавок натурального походження, а також використання високих стандартів і вимог якості щодо матеріалів упаковки.

Враховуючи той факт, що Україна є світовим лідером з виробництва соняшникової олії – це просто зобов'язує її старанно стежити і постійно вдосконалювати якість своєї продукції, що постачається на світовий і локальний ринок.

Дана тенденція забезпечується більшістю українських виробників, які бажають вивести свою продукцію на світовий ринок і прагнуть відповідати прийнятним зобов'язанням перед зарубіжними партнерами.

Цьому підтвердження – інспекційна перевірка, яка здійснена Європейською комісією (ЄК) після виявлення в соняшниковій олії, що експортувалася з України до країн ЄС, мінеральних оливок. За результатами комісії було складено звіт про запобігання забруднення мінеральними оливами соняшникової олії, призначеної на експорт до країн ЄС. Виконуючи рекомендації цього звіту, Міністерство охорони здоров'я України розробило та погодило з Міністерством аграрної політики України План заходів щодо виконання рекомендацій ЄК, який був направлений європейській стороні. МОЗ України згідно цього плану рекомендує впровадження міжнародної системи забезпечення безпеки харчових продуктів НАССР (Hazard analysis and critical control point – Аналіз ризиків та критичні точки контролю) на підприємствах олійно-жирової промисловості. Наявність у підприємств харчової промисловості систем НАССР стає обов'язковою вимогою при виході на європейський ринок. Ця вимога продиктована Директивою ради ЄС 93/43/ЕЕС від 14.07.1993 р. «Про гігієну харчових продуктів». Статтею 20 Закону України «Про якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини» теж передбачено, що «суб'єкти підприємницької діяльності – фізичні та юридичні особи всіх форм власності, які займаються розробкою, виробництвом, транспортуванням, зберіганням, ввезенням, а також реалізацією, використанням, утилізацією або знищенням харчових продуктів і продовольчої сировини, зобов'язані здійснювати заходи щодо етапного впровадження на підприємствах харчової промисловості міжнародної системи забезпечення безпеки харчових продуктів НАССР» [4]. Тому актуальним є розробка технології отримання харчової ЖКО, яка враховує систему НАССР [15].

Основним гарантуванням безпеки олієжирових продуктів, вироблених в Україні є контроль олійного насіння та продуктів його переробки за основними показниками якості: жирнокислотний склад, груповий склад фосфоліпідів, вміст жиророзчинних вітамінів, вміст стеролів, вміст воскоподібних сполук, наявність трансізомерів жирних кислот, залишкова кількість екотоксикантів (хлорорганічних похідних), а саме пестицидів, вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів (бенз(а)перену), поліхлорованих біфенілів та ін. [7].

Значна увага приділяється контролю рослинних олій на вміст органічних екотоксикантів – пестицидів, поліхлорованих біфенілів (ПХБ), які відносяться до класу хлорорганічних сполук та мають ряд специфічних властивостей, а саме біокумуляція за рахунок того, що ПХБ мають високої розчинності в жирах так само як хлорорганічні пестициди. Тому підвищується ризик надходження токсичних речовин у продукти харчування та продовольчу сировину, ускладнюється оперативне управління екологічною ситуацією в цілому

Глобальне забруднення навколишнього середовища та несприятлива екологічна ситуація в промислових районах обумовлюють необхідність постійного екологоаналітичного контролю (ЕАК) за забрудненням повітря, якістю води та накопиченням небезпечних сполук у ґрунті та донних осадах. У відповідності з різними міжнародними угодами близько 60 хімічних речовин (пріоритетні забруднювачі) увійшли до списків, що передбачають обмеження їх розповсюдження. В даний час UNEP (United Nations Environmental Project) особливо виділяє групу з 12 сполук, на які слід звертати першочергову увагу при екологічних дослідженнях. Ця так звана «брудна дюжина» включає в себе наступні речовини: поліхлоровані біфеніли (ПХБ), поліхлоровані дібензо-п-діоксин (ПХДД), поліхлоровані дібензофурани (ПХДФ), алдрин, діелдрин, дихлор-дифеніл-трихлоретан (ДДТ), ендрин, хлордан, гексахлорбензол (ГХБ), мірекс, токсафен і гептахлор [8].

За результатами аналізу нормативної документації та моніторингу екотоксикантів можна зробити висновки, що чинна нормативна документація, яка регламентує вимоги щодо контролю показників безпеки сировини і готової продукції олієжирових підприємств, потребує перегляду [4].

Відомо, що в деяких зразках олії, виробленої в Україні міститься небезпечна речовина під назвою бенз(а)пірен – хімічна сполука, представник родини поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), речовина першого класу небезпеки, яка провокує онкологічні захворювання.

Вчені дійшли висновку, що шляхів надходження бенз(а)пірену в насіння соняшника безліч: це й замічені ним сільгоспугіддя, злите автомобільне мастило чи підпалений смітник на узбіччі біля поля, транспортування насіння у вантажівці з вихлопною трубою вгору, сушка димовими газами, які містять продукти неповного згорання палива, вирощування соняшника вздовж доріг та навіть асфальтове покриття ділянки, на якій зберігається партія урожаю.

На теперішній час в країнах ЄС приділяється багато уваги контролю безпеки олієжировмісних продуктів, в тому числі вмісту бенз(а)пірену в рослинних оліях. Директива Комісії ЄС 208/2005/ЄС жорстко регламентує вміст поліциклических ароматичних вуглеводнів в харчових продуктах. Зокрема, вміст бенз(а)пірену в жирі не повинно перевищувати 0,002 мг/кг (1ppb в продуктах харчування) [12].

Присутність воскоподібних сполук в рослинних оліях обумовлює ступінь їхньої прозорості. Через близьку з ацилгліцеринами густину воску довгий час знаходяться у стані суспензії, що надає олії каламутності та погіршує органолептичні показники готової продукції. Воскоподібним сполукам в олії притаманна певна стійкість, що створює труднощі під час їх видалення. Стандартизовані методи визначення неомилювальних речовин, до яких належать і воски, які діють на цей час в Україні та інших країнах, відрізняються між собою застосованими розчинниками, умовами промивання екстракту та ін.

Науковцями розроблено сучасну методіку якісного і кількісного визначення восків в оліях методом високотемпературної газорідинної хроматографії (ГРХ), яка включена до державного стандарту України «Олії. Методи визначення воскоподібних речовин» [9].

Контроль та маркування вмісту трансізомерів жирних кислот (ТЖК) у харчових продуктах у багатьох країнах є обов'язковим. Зокрема, в Європі максимально допустимий вміст ТЖК у жирах, що використовують у промисловості, не більше 5 %, а в тих, що продаються споживачам – до 2 %. Простежується тенденція подальшого жорсткішого обмеження вмісту ТЖК. Для жирів, що використовуються в харчових продуктах, максимальний їх вміст – 2 %, а для жирів з позначкою "вільні від трансжирних кислот" – не більше 1 %. Уникнути надмірної кількості трансізомерів ЖК можна каталітичною переетерифікацією. До інновацій, що розраховані на подальшу перспективу, слід віднести низькотемпературне селективне гідрування в розчинниках, у тому числі у вуглекислоті, гідрування на стаціонарних та суспендованих катализаторах з благородних металів (платина, паладій та інші), гідрування сумішами водно з деякими інертними (у цьому процесі) газами тощо. Усі ці інноваційні технології забезпечують повне пригнічення або різке зниження накопичення ТЖК у гідрованих оліях та жирах і передбачають переетерифікацію та/або фракціонування жирів.

Для виробників і споживачів рослинних олій, фіто-олій та модифікованих жирів актуальною є проблема підвищення якості продукції і вдосконалення методів її контролю. Важливий аспект управління процесами модифікації – необхідність формулювання узагальненого показника, що однозначно характеризує якість модифікованих олій та жирів. Їх якість відповідно до державних стандартів визначається кількома показниками. З них для управління процесом використовують в основному температуру плавлення і твердість. Але ці, як і інші регламентуючі показники, недостатньо характеризують харчову й біологічну цінність продуктів модифікації. Для олієжирової сировини й готової продукції вітчизняного виробництва необхідна достовірна інформація про жирнокислотний склад згідно з вимогами міжнародних стандартів серії ISO 9000. Тому для оцінки якості модифікованих жирів необхідні сучасні методи фізико-хімічного аналізу (хроматографічні, спектрометричні та інші) [10].

Інтенсифікація процесу видобування рослинних олій та всіх його складових технологічних стадій є базою технічного розвитку оліє-жирової промисловості та одним із критеріїв, що впливає на якість готового продукту. Значна увага в наукових дослідженнях приділяється підготовці матеріалу до екстракції, процесу вилучення олії та методам інтенсифікації процесу. Одним з актуальних напрямків інтенсифікації олій видобувного виробництва є обґрунтування і вибір нових типів розчинників, оскільки традиційні вуглеводневі на основі нафтопродуктів виробляються з невідновлюваних джерел і є вибухонебезпечними.

Розчинники рослинних олій, що мають промислове застосування, є речовинами низьков'язкими, низькокиплячими, низькополярними і середньо полярними. Їх також поділяють на два типи: технічно чисті розчинники та суміші технічно чистих розчинників один з одним та з водою. Найбільш поширеним є перший тип розчинників, який представлено наступними групами хімічних сполук: аліфатичні вуглеводні, хлорпохідні аліфатичні вуглеводні, ароматичні вуглеводні та аліфатичні кетони. Використання нових видів розчинників (спиртів, зріджених газів, суперкритичних рідин) є основою зниження енергоємності виробництва, оскільки вони, як правило, виробляються з відходів інших галузей промисловості. Науково-практичний інтерес до етанолу в останнє десятиріччя оновився завдяки декільком причинам. Це, перш за все, суттєвий зріст цін на вуглеводневі розчинники нафтового походження, а також великий запас в Україні виробничих потужностей щодо етанолу, який до того є харчовим продуктом, що робить його застосування безпечним [11].

На запит European Food Safety Authority (EFSA – Європейська рада з безпеки харчових продуктів) було проведено дослідження ЖКО в якості «нового харчового інгредієнта».

Петрозелінова кислота – мононенасичена жирна кислота, є основною в ЖКО (60–65 %) і представляє собою ізомер олеїнової кислоти. ЖКО також містить невелику кількість інших жирних кислот, таких як лінолева (12–19 %), олеїнова (8–15 %), пальмітинова (2–5 %) і стеаринова (<1,5 %). Вміст транс-жирних

кислот становить 0,04–0,27 %. Наявність токоферола в ЖКО нижче допустимих рівнів – 2 мг/100 г. Що стосується важких металів, диоксинів, поліциклических ароматичних вуглеводородів (зокрема бензо(а)пирену) і залишків пестицидів – результати були нижче максимального рівня, встановленого Європейською Комісією (ЕС) № 1881/20067 [13].

Коріандрова олія, як новий харчовий інгредієнт в якості харчової добавки рекомендовано для здорових дорослих людей вживати максимум 600 мг в день. Це дозволить споживати петрозелінової кислоти більше, ніж зазначено вимогами.

Основні характеристики ЖКО:

- колір – світло-жовтий;
- запах і смак – м'який;
- показник заломлення (при 20 °С) 1,466 до 1,474;
- кислотне число – максимум 0,6 мг КОН/г;
- перекисне число – максимум 5 мг-екв/кг;
- йодне число – від 88 до 102 одиниць;
- число омилення – від 186 до 198 мг КОН/г;
- неоміляємих речовин – максимум 15 г/кг.

Зважаючи на зазначені проблеми якості Української олієжирової продукції в розрізі європейських норм безпеки харчових продуктів, актуальним завданням є удосконалення схем технохімічного контролю виробництва рослинних олій; виявлення особливостей і труднощів запровадження міжнародної системи забезпечення безпеки харчових продуктів в олієжировій галузі України; забезпечення контролю на всіх етапах харчового ланцюга, в будь-якій точці процесу виробництва.

#### Література

1. ДСТУ 4492:2005 "Олія соняшникова. Технічні умови".
2. Тимошенко Л.М. Розвиток світового ринку рослинних олій та перспективи участі на ньому України / Л.М. Тимошенко, О.В. Пирог, А.П. Кухаренко // Економічний простір.– 2008.– № 13.– 2008.– С. 26–37.
3. Romadon M.F., Morsel J.T. Oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit-seeds // European Food Research and Technology. – 2002. – Vol. 215. – № 3. – P. 204–209.
4. Левчук І.В., Осейко М.І., Тимченко В.К. Аналіз факторів небезпеки продукції в технохімічному контролі олієжирових виробництв // Технологический аудит и резервы производства – № 5/2(19), 2014. – С. 21–25.
5. Кодекс Алиментариус. Жиры, масла и производные продукты / Пер. с англ. – М.: Издательство «Весь Мир», 2007. – 68 с.
6. Federation of Oils, Seeds and Fats Associations (FOSFA International). International List of Acceptable Previous Cargoes (giving synonyms and alternative chemical names).
7. Осейко М.І. Технологія рослинних олій: [підручник] / Осейко М. І. – К.: Варта, 2006. – 280 с.
8. Левчук І.В. Визначення поліхлорованих біфенілів (ПХБ) в оліях та жирах // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків, 2014. № 1 – С. 113–119.
9. Кіщенко В.А. Визначення воску і воскоподібних сполук методом високотемпературної хроматографії // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків, 2014. № 1 – С. 106–112.
10. Олії та жири: склад, методи одержання, якість / М. Осейко, А. Українець, С. Усатюк [та ін.] // Харчова і переробна промисловість. – 2004. – №5. – С. 17–19.
11. Петік П.Ф. Використання альтернативних розчинників для екстракції рослинних олій // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків, 2014. № 2 – С. 77–86.
12. <http://www.fediol.be/data/133181029308COD131FINAL%20COP%20Sampling%20and%20Analysis%20on%20imported%20sunflower%20oil%20from%20Ukraine.pdf>.
13. Agostoni C., Berni Canani R., Fairweather-Tait S., Heinonen M., Korhonen H., La Vieille S., Marchelli R., Martin A., Naska A., Neuhauser-Berthold M., Nowicka G., Sanz Y., Siani A., Sjodin A., Stern M., Strain S., Tetens I., Tome D., Turck D., Verhagen H. Scientific Opinion on the safety of “coriander seed oil” as a Novel Food ingredient. – EFSA Journal. – 2013. – Vol. 11, №10. – article № 3422. DOI: 10.2903/j.efsa.2013.3422.
14. Пат. Україна № 9213, МПК (2014.01) С11В 3/00. Спосіб рафінації жирної коріандрової олії / В.С. Калина, Ф.Ф. Гладкий, М.В. Луценко, В.О. Шляпников. Бюл. №15. Заявлено 30.12.2013; Опубл. 11.08.14.

#### Bibliography (transliterated)

1. DSTU 4492:2005 "Oliya sonyashnikova. Tehnichni umovi".
2. Timoshenko L.M. Rozvitok svitovogo rinku roslinnih oliy ta perspektivi uchasti na nomu Ukrayini / L.M. Timoshenko, O.V. Pirog, A.P. Kuharenko. Ekonomichnyi prostir.– 2008.– # 13.– 2008.– P. 26–37.

3. Romadon M.F., Morsel J.T. Oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit-seeds. *European Food Research and Technology*. – 2002. – Vol. 215. – # 3. – P. 204–209.
4. Levchuk I.V., Oseyko M.I., Timchenko V.K. Analiz faktoriv nebezpeki produktsiyi v tehnohimkontroli oliiezhirovih virobnitstv. *Tehnologicheskiiy audit i rezervyi proizvodstva* – # 5/2(19), 2014. – P. 21–25.
5. Kodeks Alimentarius. Zhiryi, masla i proizvodnyie produkty. Per. s angl. – M.: Izdatelstvo «Ves Mir», 2007. – 68 p.
6. Federation of Oils, Seeds and Fats Associations (FOSFA International). International List of Acceptable Previous Cargoes (giving synonyms and alternative chemical names).
7. Oseyko M.I. *Tehnologiya roslinnyh oliy: [pidruchnik]*. Oseyko M. I. – K.: Varta, 2006. – 280 p.
8. Levchuk I.V. Vznachennya polihlorovanih bifeniliv (PHB) v oliyah ta zhirah. *Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya*. – Harkiv, 2014. # 1 – P. 113–119.
9. Kischenko V.A. Vznachennya vosku i voskopodibnih spoluk metodom visokotemperaturnoyi hromatografii. *Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya*. – Harkiv, 2014. # 1 – P. 106–112.
10. Oliyi ta zhiri: sklad, metodi oderzhannya, yakist. M. Oseyko, A. Ukrayinets, S. Usatyuk [ta in.]. *Harchova i pererobna promislovist*. – 2004. – #5. – P. 17–19.
11. Petik P.F. Viktoristannya alternativnyh rozchinnikiv dlya ekstraktsiyi roslinnyh oily. *Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya*. – Harkyv, 2014. # 2 – P. 77–86.
12. <http://www.fediol.be/data/133181029308COD131FINAL COP Sampling and Analysis%20on imported sunflower oil from Ukraine.pdf>.
13. Agostoni C., Berni Canani R., Fairweather-Tait S., Heinonen M., Korhonen H., La Vieille S., Marchelli R., Martin A., Naska A., Neuhauser-Berthold M., Nowicka G., Sanz Y., Siani A., Sjodin A., Stern M., Strain S., Tetens I., Tome D., Turck D., Verhagen H. Scientific Opinion on the safety of “coriander seed oil” as a Novel Food ingredient. – *EFSA Journal*. – 2013. – Vol. 11, #10. – article # 3422. DOI: 10.2903/j.efsa.2013.3422.
14. Pat. UkraYina # 9213, MPK (2014.01) S11V 3/00. Sposib raflnatsiyi zhirnoyi korlandrovoyi oliyi / V.S. Kalina, F.F. Gladkiy, M.V. Lutsenko, V.O. Shlyapnikov. *Byul. #15. Zayavleno 30.12.2013; Opubl. 11.08.14.*

УДК 664:665.1/7:539:542/543

Луценко М.В., Калина В.С., Семяшкин А.Ю., Мельник М.М.

### **СОВРЕМЕННЫЕ ЕВРОПЕЙСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ПОДСОЛНЕЧНОГО И КОРИАНДРОВОГО МАСЛА**

Базируясь на результатах анализа информации об основных нормах качества масложировых продуктов, которые утверждены в Европе в статье рассмотрены показатели безопасности отечественных растительных масел, их соответствие европейским требованиям и предложены методы усовершенствования существующих стандартов Украины в данной отрасли.

Lytsenko M.V., Kalyna V.S., Semyashkin O.Y., Mel'nyk M.M.

### **MODERN EUROPEAN QUALITY REQUIREMENTS SUNFLOWER AND CORIANDER OIL**

Being based on results of the analysis of information on the main standards of quality of oil and fat products which are approved in Europe in article indicators of safety of domestic vegetable oils, their compliance to the European requirements are considered and methods of improvement of the existing standards of Ukraine in this branch are offered.

## АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ УКРАИНЫ

**Введение.** Уровень развития энергетики имеет решающее влияние на состояние экономики в государстве, решение проблем социальной сферы и уровень жизни человека. Поэтому, энергоресурсы выступают предметом активного интереса со стороны правительства, субъектов предпринимательства и общества в целом. В состав топливной промышленности Украины входят следующие сектора угольный, газовый, нефтяной, нефтеперерабатывающий, торфяной и атомный [1–3]. Потребление энергетических материалов и продуктов переработки нефти в Украине в 2013 году составило 165,7 млн. т условного топлива, что относит нашу страну к крупнейшим мировым потребителям топливно-энергетических ресурсов [4,5].

Проблемы в стабильном энергообеспечении Украины определяют актуальность данной работы. Целью данной статьи является определение и оценка структуры и потенциала традиционных и возобновляемых энергетических ресурсов. Энергетический потенциал Украины состоит из природных полезных ископаемых, водных ресурсов, возобновляемых и нетрадиционных источников энергии.

**Ископаемые энергетические ресурсы.** Украина имеет довольно значительные разведанные и прогнозные энергетические ресурсы, особенно запасы угля. Добывающая отрасль топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Украины представлена угольной и нефтегазовой отраслями. Фактическая добыча энергетических ресурсов в Украине за 2011, 2012 и 2013 года приведена в таблице 1 [6].

Таблица 1 – Динамика фактической добычи топлива в Украине

Показатели	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Добыча угля, (тыс. тонн)	75231	81991,4	85946,0	83697,5
Добыча нефти с газовым конденсатом, (тыс. тонн)	3545,6	3325,1	3290,1	3050,9
Поставка нефти на НПЗ Украины (тыс. тонн)	–	8453,4	4013,4	3270,6
Производство мазута, (тыс. тонн)	–	2030,0	715,3	600,1
Добыча газа, (млн. м <sup>3</sup> )	20054,7	20139,2	20185,0	20998,2

Анализируя таблицу 1, можно сказать, что за приведенные года угледобывающими предприятиями Украины количество добытого угля увеличивается, хотя и не значительными темпами (в 1,11 раза в 2013 году по сравнению с 2010 годом). Добыча газа в 2013 году, также увеличилась не значительно, в 1,05 раза по сравнению с 2010 годом. Объемы добычи нефти с газовым конденсатом уменьшается. На нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) поступления нефти значительно уменьшилось, следовательно уменьшилось и производство бензинов, дизельного топлива и мазута.

Угольная отрасль по объему добычи топлива в натуральном выражении является первой среди отраслей ТЭК Украины. Украина принадлежит к самым крупным производителям угля, в стране сосредоточено около 4 % всех мировых запасов угля, при этом добыча составляет 1,1 % мирового запаса, по данным Международного энергетического агентства. Добыча угля значительно сокращалась в 1990–1996 гг, и стабилизировалась с конца 2000-х годов. В 2011 году Украина заняла 10-е место в мире по добыче угля (82 млн. т) и восьмое по доказанным запасам (34153 млн. т). При сохранении существующих темпов добычи, угля Украине хватит на 400 лет [1, 7]. По объемам использования первичных энергоносителей уголь занимает второе место после природного газа и используется в таких базовых секторах экономики, как производство электроэнергии и металлургическая промышленность: 75 % – как топливо, 25 % – как технологическое сырье для черной металлургии, химической и других отраслей. Таким образом, учитывая, что запасы угля в стране больше всего, то главная роль в обеспечении потребностей народного хозяйства в топливе должна отводиться именно ему [8, 9].

Сравнивая с угольной промышленностью главных угледобывающих стран мира природные условия добычи угля в Украине, в общем, должны быть признаны достаточно сложными. Поскольку чрезвычайно сложные горно-геологические условия деятельности угледобывающих предприятий. На 73 отечественных угольных шахтах глубина ведения горных работ достигает 750 м, а на 36 шахтах она превышает 1000–1300 м, температура горных пород на освоенных глубинах в среднем составляет 42–45 °С, угольные пласты, которые отрабатываются украинскими горняками, маломощные, в среднем – 1 метр. Причем 80 % общего количества шахтопластов составляют крутые и тонкие пласты, которые наиболее сложны для угледобычи и в мире они вообще считаются некондиционным и почти нигде не вынимаются [9].

Основные запасы каменного угля в Украине сосредоточены в Донецкой и Луганской областях, в меньшем количестве в Днепропетровской и Львовской областях. Бурые угли залегают в основном в Кировоградской области. Запасы дефицитного коксующегося угля значительно уменьшились. Но в последние годы увеличивается количество утвержденных (апробированных) Государственной комиссией Украины по запасам полезных ископаемых балансовых запасов угля, в течение 2009 г. – 56274 тыс. т, 2010 г. – 140 086 тыс. т, 2011 г. – 264 921 тыс. т [10].

В экономике Украины, как видно из табл. 1, также используются и добывается нефть и газ. Украина относится к старейшим нефтедобывающих стран мира. Начальные потенциальные ресурсы углеводородов Украины в пересчете на условное топливо оцениваются в 9322,7 млн. т, в т.ч. нефти с газоконденсатом 1643,4 млн. т (17,6 %) и свободного газа – 7254,3 млн. м<sup>3</sup> (77,8 %). Значительная часть ресурсов углеводородов (27 %) сосредоточена на глубинах 5–7 км, что делает их освоение при современном развитии техники и технологии добычи маловероятным и нецелесообразным. Следует отметить, что 7043,5 млн. т начальных потенциальных ресурсов углеводородов, или 75,5 % от их общего количества, находятся на суше, а 2279,2 млн. т (24,5 %) – на шельфе Черного и Азовского морей [8].

Расположение нефтегазоносных месторождений на территории Украины и их краткая характеристика следующая [10]:

– западный нефтегазоносный регион старейший в Украине и самый маленький по потенциальным ресурсам и запасам. 103 месторождения в т.ч. 57 разрабатываемых (газ – 13, газоконденсат – 4, нефть – 40). Основные месторождения: Летнянське, Залужанське, Бильче-Волицьке – газовые; Долинське, Стругинський, Битков-Бабчинське, Стинавське – нефтяные.

– восточный нефтегазоносных регионах является крупнейший в Украине за потенциальными ресурсами и запасами. 205 месторождений в т.ч. 121 разрабатываемых (газ – 64, газоконденсат – 72, нефть – 53). Степень реализации начальных потенциальных ресурсов – 57 %. Основные месторождения Шебелинське, Западно-Крестинське, Ефремовське – газоконденсатные; Яблуновське, Анастасивське, Глинсько-Розбышевське – нефтегазоконденсатные; Бугруватовське, Малодивичьке – нефтяные.

– южный нефтегазоносный регион наименее освоен. Степень реализации начальных ресурсов – 5%. Крупнейшие месторождения открыто на шельфе: Штормовое, Шмидтивського, Глицинське газоконденсатные, Субботинське нефтяное (Черное море) Северное и Восточное -Казантипське газовые (Азовское море). Разведанные запасы месторождений на шельфе – 64 млрд. м<sup>3</sup>.

Собственная добыча нефти с газовым конденсатом в 2013 г. составила 3050,9 тыс. т, что удовлетворяет потребности страны в нефти лишь около 10 %. Низкие показатели нефтяной промышленности Украины приводят к зависимости от поставок нефти и нефтепродуктов из других стран (в первую очередь из России) [6, 7, 11].

Нефтегазотранспортная система Украины одна из крупнейших в мире, протяженность всех нефтепроводов в единичном исчислении составляет более 4,5 тыс. км, пропускная способность которых на входе 114 млн. т., на выходе – 70 млн. т. в год. Вместимость резервуарного парка составляет около 1,1 млн. м<sup>3</sup>. На данный момент мощность магистральных нефтепроводов используется недостаточно (на входе на 49,7 %, на выходе – 47,4 %) [9].

Суммарная доля нефти и газа в общем балансе использования первичных энергоресурсов Украины составляет более 50 %. Как уже отмечалось, доля в энергобалансе природного газа является наибольшей за последние годы она составляет (38–42) %. По данным BP Statistical Review of World Energy в 2009 г. Украина занимала 14 место в мире по объемам потребления природного газа.

Собственная добыча природного газа в 2013 г. составила около 21 млрд. куб. м., удовлетворяет потребности страны на 34 %. Государство импортирует природный газ из Российской Федерации. [1, 6, 11].

Газотранспортная система Украины (ГТС) на сегодня обеспечивает внутренний рынок собственным и импортированным газом. Общая протяженность магистральных газопроводов составляет 37,6 тыс. км. Их пропускная способность на входе – почти 290 млрд. м<sup>3</sup>, на выходе – более 175 млрд. м<sup>3</sup>. Для стабильного обеспечению потребителей газом в период сезонных колебаний спроса используются подземные хранилища, общий объем которых составляет почти 32 млрд. м<sup>3</sup>. Мощность газопроводов на входе используется на 65–66 %, а на выходе – 76–78 % [9].

Таким образом, в структуре потребления ведущая роль принадлежит природному газу, а в структуре производства собственных энергетических ресурсов преобладает уголь. Поэтому, для повышения энергонезависимости Украины, необходимо увеличивать производство электро- и теплоэнергии за счет использования твердого топлива (угля), что требует строительства и расширения сети электростанций и реализацию мероприятий по охране окружающей среды. Также важным направлением развития электроэнергетики является возрастание роли атомной энергетики.

В Украине доля урана в общем балансе использования первичных энергоресурсов составляет 17,9 % (за 2010 г.), около 50 % электроэнергии производится атомными станциями, но только 30 % ресурсов

топлива производится в Украине. Залежи урановой руды, запасы которой достигают 40 тыс.т, могут обеспечить производство ядерного топлива на уровне 40–150 лет [2, 9].

В Украине нет замкнутого цикла производства ядерного топлива, решение вопроса с налаживанием собственного производства элементов, выделяющих тепло (ТВЭЛов), может обеспечить независимость Украины от внешних факторов в производстве, как минимум, половины годового объема электроэнергии за счет АЭС [8].

Среди стран СНГ по запасам торфа Украина занимает третье место. Балансовые запасы воздушно-сухого торфа сосредоточены преимущественно в Ровенской (18 %), Волынской (18 %) и Черниговской областях (13 %), составляют 2,7 млрд. т. (Средняя теплотворная способность торфа – 2300 ккал / кг). Добыча топливного торфа нестабильна [2, 12]. Потребление торфа неагломерированного топливного в 2010 году составило 398,4, а в 2013 году 452,2 тыс. т условной влажности соответственно [4].

В некоторых районах Украины как топливо используют дрова. Объем потребления дров для отопления составил в 2010 и 2013 годах 2528,4 и 2892,5 тыс. м<sup>3</sup> плотных соответственно [4].

Общие запасы горючих сланцев в Украине достигают 3,7 млрд.т [2]. Но технический потенциал и инфраструктура для строительства скважин на сланцевый газ в Украине отсутствуют. Работы по промышленной добычи сланцевого газа только начаты [10].

Украина занимает 9 место в мире по запасам метана угольных месторождений общие ресурсы метана угольных месторождений Украины (уголь + песчаники) составляют 12–13 трлн м<sup>3</sup>; учтенные Государственным балансом Украины на 01.01.2010 г. запасы метана по 186 шахтах и участках, в том числе по 95 действующих шахтах – 314 млрд м<sup>3</sup>; расчетный потенциал добычи метана в год – 8–12 млрд. м<sup>3</sup> / год; 1,4 млрд. м<sup>3</sup> газа выдвинулось в 2009 г. при добыче 72,2 млн. т угля, утилизировано 70 млн. м<sup>3</sup> (5 %) [10].

#### Возобновляемые и нетрадиционные энергетические ресурсы.

Несмотря на низкий уровень развития возобновляемой энергетики сегодня, Украина имеет хорошие предпосылки для развития этого направления в будущем. Согласно атласу энергетического потенциала возобновляемых источников энергии Украины, созданном в Институте возобновляемой энергетики Национальной академии наук Украины, общий годовой технически достижимый энергетический потенциал возобновляемых источников Украины в пересчете на условное топливо составляет около 93 млн. т у.т. (табл. 2), применение которого может на 40 % сократить использование традиционных энергоносителей Украины [13–15]. А на официальном сайте Государственного агентства по энергоэффективности и энергосбережению Украины указан потенциал в размере 98,0 млн. т у. т. на год [16]. Наибольшую долю при этом имеют биомасса и геотермальная энергия – более 30 % [17–20].

Украина характеризуется достаточно высокими энергетическими потенциалами ветрового потока в Карпатах, в АР Крым, на побережье Черного и Азовского морей, где среднегодовые скорости ветра на высоте 10 м составляют 5 и более метров в секунду. Потенциал ветровой энергии, который может быть использован оценивается 15,0 млн т у. т. или 41,7 млрд. кВт час. В Украине эксплуатируется одиннадцать промышленных ветроэлектрических станций. На конец 2013 года установленная мощность ветроэнергетических станций составила 334 МВт. В украинской Энергетической стратегии планируется, что к 2030 г. в Украине по базовому сценарию будет освоено использование энергии ветра 0,7 млн т у.т. / год [13–17, 20].

Таблица 2 – Потенциал нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в Украине

Направление освоения НВИЭ	Годовой энергетический потенциал			
	Теоретически-возможный		Технически-достижимый	
	млрд. кВт час	млн т у. т.	млрд. кВт час	млн т у. т.
Ветроэнергетика	270,0	97,2	41,7	15,0
Солнечная энергетика	720000,0	88400,0	28,8	6,0
Геотермальная энергетика	876000,0	100000,0	105,1	12,0
Гидроэнергетика	37,5	13,5	27,7	10,0
Биоэнергетика	407,0	50,0	162,8	20,0
Энергетика окружающей среды	203,5	25,0	154,7	18,0
Всего ВИЭ	1596918,0	188585,7	520,8	81,0
Внебалансовые источники энергии	41,7	15,0	33,4	12,0
Всего	1596959,7	188600,7	554,2	93,0

Украина имеет опыт проектирования, производства, строительства, эксплуатации и обслуживания ветроэнергетических установок, и ветроэнергетических станций. Однако производительность произво-

димого в стране оборудования значительно ниже, чем в западноевропейских производителей и не является конкурентоспособной. В большинстве ветроэлектростанции комплектуются ветроустановками мощностью 600 кВт с высокими технико-экономическими показателями [20, 21].

Солнечная энергия – продолжительность светового дня в Киеве с апреля по октябрь составляет 130–300 ч/месяц, а это не меньше, чем в городах Центральной Европы. Среднегодовое количество суммарной солнечной радиации, поступающей на 1 м<sup>2</sup> на территории Украины находится в пределах: от 1070 кВт × ч/м<sup>2</sup> в северной части Украины до 1400 кВт × ч/м<sup>2</sup> и выше в АР Крым. Потенциал солнечной энергии в Украине является достаточно высоким для широкого внедрения как теплоэнергетического, так и фотоэнергетического оборудования практически во всех областях. Срок эффективной эксплуатации гелиоэнергетического оборудования в южных областях Украины – 7 месяцев (с апреля по октябрь), в северных областях 5 месяцев (с мая по сентябрь). Фотоэнергетическое оборудование может достаточно эффективно эксплуатироваться в течение всего года [15, 19, 20, 22]. На конец 2013 года установленная мощность гелиоустановок превысила 748 МВт [16]. По данным Института возобновляемой энергетики технический потенциал солнечной энергии составляет 28,8 кВт/час. В украинской Энергетической стратегии планируется, что к 2030 г. в Украине по базовому сценарию будет освоено использование солнечной энергетики 1,1 млн. т у.т./год. Украина имеет собственное производство солнечных коллекторов [15, 17, 20].

В настоящее время гидроэнергия является единственным возобновляемым энергоресурсом, используемым в относительно больших объемах в Украине. В энергетическом комплексе страны гидроэлектростанции (ГЭС) занимают третье место после тепловых и атомных. Суммарная установленная мощность ГЭС Украины сейчас составляет 8 % от общей мощности объединенной энергетической системы страны. Объем электрической энергии в 2012, проданной ГЭС в оптовый рынок электрической энергии составил 10357,1 млн кВт/ч, что заняло 5,74 % от общего. Основной используемый потенциал сосредоточен на ГЭС Днепровского каскада (мощность – 3,8 ГВт, выработка – 9,9 ГВт ч). Кроме ГЭС и ГАЭС (гидроаккумулирующие), в Украине эксплуатируются, так называемые, малые ГЭС с общей установленной мощностью на конец 2013 года более 75 МВт. Но большинство из них имеют недостатки: быстрый износ оборудования, повреждение сооружений напорного фонтана, заиливание водохранилищ, недостаточное использование средств автоматики и контроля [6, 12, 15, 16, 20, 23].

Годовые общие потенциальные ресурсы 202 основных рек Украины достигают 4880 МВт, а средних и малых рек (около 63 тысяч) – около 2600 МВт (28 % от общего гидропотенциала Украины). Оценка малых и средних рек Украины свидетельствует о возможности построения на них более 2300 малых и средних гидроэлектростанций. Большинство рек находится в Западной Украине [12, 19, 20, 22, 14].

Украина имеет значительные потенциальные ресурсы геотермальной энергии. Они представляют собой прежде всего термальные воды и тепло нагретых сухих горных пород. Кроме этого, к перспективным для использования в промышленных масштабах можно отнести ресурсы нагретых подземных вод, которые выводятся с нефтью и газом действующими скважинами нефтегазовых месторождений. Наиболее благоприятные условия для использования геотермальных вод существуют в Закарпатье и в Крыму, но даже в этих районах используется не более 2 % потенциала. Технический потенциал использования геотермальных запасов горячей воды оценивается примерно в 105 млрд. кВт/час. Горные породы с температурой 150 °С в пределах Украины зафиксированы на глубинах 3–10 км (в Донбассе – 4–6 км). Плотность ресурсов на технологически доступных глубинах 4–5 км составляет около 7 млн т у.т./км. В украинской Энергетической стратегии планируется, что к 2030 г. в Украине по базовому сценарию будет освоено использование геотермальной энергии 0,7 млн т у.т. / год [15, 17, 19, 20, 22].

Украина обладает большим потенциалом биомассы, доступной для производства энергии. Основными составляющими этого потенциала являются отходы сельского хозяйства, отходы древесины, а в перспективе – энергетические культуры, выращивание которых начало активно развиваться в последние годы. Эти ресурсы можно использовать как путем прямого сжигания, так и для производства биогаза, биодизеля, биоэтанола, твердых топливных брикетов и др. Величина энергетического потенциала биомассы меняется по годам и зависит, главным образом, от урожайности основных сельскохозяйственных культур (пшеница, кукуруза, подсолнух и др.). За последние 10 лет колебания экономического потенциала составили от 25 до 38 млн. т у.т. / год.

По данным энергетического баланса Украины за 2010 год, для получения энергии в стране используется всего около 1,3 млн. т у.т. / год биомассы, составляет 0,7 % общей поставки первичной энергии в Украине. На конец 2013 года установленная мощность установок для получения энергии из биомассы составляет 17,2 МВт. В основном, используется шелуха семечек подсолнуха, отходы древесины, дрова для населения и торф, отдельные составляющие приведены в табл. 3. Биоэнергия используется в децентрализованном режиме для производства тепла и/или горячей воды. [15, 16, 18, 20].



По данным 2011 г. экономически обоснованный энергетический потенциал существующих отходов биомассы составляет около 25 млн т у.т., а энергетический потенциал биомассы, которую можно вырастить на неиспользованных сельскохозяйственных землях площадью более 4 млн га – около 13 млн т у.т. (табл. 4). За счет этого потенциала можно покрыть до 18 % общего объема потребления первичных энергоносителей в Украине [18, 25].

Таблица 3 – Потребление биомассы для производства энергии в Украине (2010 г.)

Вид биомассы	Объем потребления в год		% от общего
	натуральные единицы	тыс. т у.т.	
Солома	50 тыс. т	24	1,9
Отходы древесины	957 тыс. т	261	20,2
Дрова (население)	1972 тыс. м <sup>3</sup> плотных	377	29,2
Лузги подсолнечника	884 тыс. т	452	35,0
Торф	339 тыс. т	156	12,1
Биогаз (навоз)	4516 тыс. м <sup>3</sup>	3	0,2
Биогаз из полегонтов ТБО	26192 тыс. м <sup>3</sup>	18	1,4
Всего		1291	100

Таблица 4 – Энергетический потенциал биомассы в Украине (2011 г.)

Вид биомассы	Всего образуется, млн. т	% от общего количества	Экономический потенциал, млн. т у.т.
Солома зерновых культур	32	20	3,17
Солома рапса	2,9	70	0,96
Отходы производства кукурузы на зерно	34	52	8,59
Отходы производства подсолнуха	17	67	5,55
Вторичные отходы с/х (лузга, жом)	9,7	77	0,99
Древесная биомасса	3,9	89	1,87
Биодизель	–	–	0,35
Биоэтанол	–	–	2,36
Биогаз из навоза	–	–	0,35
Биогаз из полегонтов ТБО	–	–	0,26
Биогаз сточных вод	–	–	0,09
Энергетические культуры	–	–	13,3
Торф	–	–	0,4
Всего	–	–	38,24

Использование микробиологических технологий переработки отходов крупных животноводческих комплексов позволяет получить объем биогаза, энергетический эквивалент которого 350 тыс.т у.т. Количество растительных отходов ежегодно составляет около 20 млн.т у.т. В Украине в настоящее время есть лишь несколько установок по производству биогаза. Один из современных заводов расположен в Днепропетровске. Отходы при заготовки древесины, а также деревообработки является серьезной экологической проблемой и могут быть успешно использованы для энергетической утилизации с потенциалом 1,87 млн. т у.т. За первое полугодие 2014 года произведено твердогазотоплива 417 тыс. т. или 258 тыс. т у.т. [15, 16, 18, 20, 22, 25].

Основными источниками низко потенциальной сбросной теплоты техногенного происхождения являются вентиляционные выбросы и охлаждающая вода технологического и энергетического оборудования предприятий, промышленные и коммунально-бытовые стоки. В Украине канализационные системы централизованного отвода коммунально-бытовых стоков функционируют в 427 городах, 515 поселках городского типа, 856 селах. Общий годовой объем коммунально-бытовых стоков составляет около 3740 млн. м<sup>3</sup>. Температура стоков составляет 12–20 °С в зависимости от сезона. Технический потенциал низкопотенциальной тепловой энергии сточных вод составляет 33939 тыс. МВт × ч/год. Экономически

целесообразные объемы использования низкопотенциальной тепловой энергии сточных вод составляют 12726 тыс. МВт ч/год [20, 22].

Тепловая энергия почвы и грунтовых вод может использоваться для обогрева и вентиляции помещений. В условиях Украины это могут быть усадебные дома городов и сел. Отбор тепловой энергии от грунта может осуществляться с помощью подземных теплообменников различных типов. В Украине эксплуатируется 9,3 млн. усадебных домов с общей площадью 515,8 млн. м<sup>2</sup>. Для их теплоснабжения можно устраивать подземные теплообменники с технически доступным объемом использования тепловой энергии земли и подземных вод в объеме 112520 тыс. МВт ч. За первое полугодие 2014 года тепловыми насосами произведено 2,5 тыс. Гкал тепловой энергии, с тридцати трех объектов с установленной мощностью 3,4 МВт [16, 20, 22].

По состоянию на 1 января 2014 года в Украине насчитывается 581 объект, производящий тепловую энергию с возобновляемых источников, общей установленной мощностью 1072 МВт. А установленная мощность объектов возобновляемой энергетики, работающих за «зеленым» тарифом составила 1181,553 МВт [16].

### Выводы

Украина имеет достаточный потенциал энергетических ресурсов, состоящий из природных полезных ископаемых, водных ресурсов, возобновляемых и нетрадиционных источников энергии. Угольная отрасль по объему добычи топлива в натуральном выражении является первой среди отраслей ТЭК Украины. Количество добытого угля увеличивается не значительными темпами, так в 2013 году добыто 83,7 млн. тонн, что в 1,11 раза больше чем в 2010 г. Но природные условия добычи угля относятся к сложным, что ограничивает их добычу и требует внедрение новых технологий. Следует отметить, что в последние годы увеличивается количество утвержденных балансовых запасов угля.

Начальные потенциальные ресурсы углеводородов Украины в пересчете на условное топливо оцениваются в 9322,7 млн. т, в т. ч. нефти с газоконденсатом 1643,4 млн. т и свободного газа – 7254,3 млн. м<sup>3</sup>. Однако в последние годы объемы добычи нефти с газовым конденсатом уменьшаются, в 2013 году добыча составила 3050,9 тыс. т, что удовлетворяет потребности страны в нефти лишь около 10 %. Собственная добыча природного газа в 2013 г. составила около 21 млрд. куб. м., что свидетельствует о незначительном увеличении, однако потребности страны удовлетворяются только на 34 %. Суммарная доля нефти и газа в общем балансе использования первичных энергоресурсов Украины составляет более 50 %.

В Украине доля урана в общем балансе использования первичных энергоресурсов составляет 17,9 % (за 2010 г.). Запасы залежей урановой руды достигают 40 тыс. т, могут обеспечить производство ядерного топлива на уровне 40–150 лет, но в Украине нет замкнутого цикла производства ядерного топлива, и поэтому только 30 % ресурсов ядерного топлива производится в Украине.

Балансовые запасы воздушно-сухого торфа составляют 2,7 млрд. т, но добыча топливного торфа нестабильна, а потребление в 2013 году 452,2 тыс. т неагломерированного топливного условной влажности.

Общие запасы горючих сланцев в Украине достигают 3,7 млрд. т, но работы по промышленной добыче сланцевого газа только начаты. Также в Украине имеются ресурсы метана угольных месторождений с расчетным потенциалом добычи метана 8–12 млрд. м<sup>3</sup> / год, но утилизируется метана малое количество.

Украина имеет хорошие предпосылки для развития возобновляемой энергетики, так технически достижимый потенциал ее может составлять до 98,0 млн. т у.т.

Потенциал ветровой энергии, который может быть использован оценивается 15,0 млн т у. т. На конец 2013 года установленная мощность ветроэнергетических станций составила 334 МВт. В последнее время прослеживается тенденция к увеличению установленной мощности.

Потенциал солнечной энергии в Украине является достаточно высоким для широкого внедрения как теплоэнергетического, так и фотоэнергетического оборудования практически во всех областях. На конец 2013 года установленная мощность гелиоустановок превысила 748 МВт.

Годовые общие потенциальные ресурсы 202 основных рек Украины достигают 4880 МВт. Суммарная установленная мощность ГЭС Украины сейчас составляет 8 % от общей мощности объединенной энергетической системы страны, общая установленная мощность малых ГЭС составляет более 75 МВт.

По данным 2011 экономически обоснованный энергетический потенциал существующих отходов биомассы составляет около 25 млн. т у.т., а общий энергетический потенциал биомассы в Украине (2011 г.) составляет около 38,24 млн. т у.т. Именно биоэнергетика занимает наибольшую долю в общем потенциале возобновляемых источников энергии.

В Украине прослеживается тенденция к увеличению использования альтернативных источников энергии как тепловой так и электрической, что согласуется с мировыми тенденциями. Это является важным, поскольку внедрение и использование альтернативных источников энергии ведет к уменьшению

влияния на окружающую среду, равномерному распределению энергетических ресурсов, децентрализации производства энергии и увеличению энергетической независимости государства.

## Литература

1. Маляренко В.А. Аналіз споживання паливно-енергетичних ресурсів України та їх раціонального використання / В.А. Маляренко, І.С. Щербак // Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Вісник НТУ «ХП». 2013. № 14(988) – С. 118–126. Електронний ресурс. – Режим доступу: [http://www.kpi.kharkov.ua/archive/Наукова\\_періодика/vestnik/Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування/2013/14/14\\_13\\_17.pdf](http://www.kpi.kharkov.ua/archive/Наукова_періодика/vestnik/Енергетичні_та_теплотехнічні_процеси_й_устаткування/2013/14/14_13_17.pdf).
2. Дзядикевич Ю.В. Енергетичний менеджмент / Ю.В. Дзядикевич, М.В. Буряк, Р.І. Розум. – Тернопіль: Економічна думка, 2010. – 295 с.
3. Івашук Н.Л. Аналітичний огляд енергетичного ринку України / Н.Л. Івашук, А.С. Завербний, А.В. Івашук // Сталій розвиток економіки. Всеукраїнський науково-виробничий журнал. – 2012. №6 (16). – С. 7–13. Електронний ресурс. – Режим доступу: [http://unier.km.ua/upload-files/\\_6\\_2012.pdf](http://unier.km.ua/upload-files/_6_2012.pdf).
4. Статистичний щорічник України за 2013 рік / За ред. О.Г.Осауленка. – К.: 2014. – 534 с. Електронний ресурс. – Режим доступу: [http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/publ1\\_u.htm](http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm).
5. Україна у цифрах 2013 Статистичний збірник / За ред. О.Г.Осауленка. – К.: 2014. ТОВ «Видавництво «Консультант».– 240 с. Електронний ресурс. – Режим доступу: [http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/publ1\\_u.htm](http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm).
6. Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. Статистична інформація. Електронний ресурс. – Режим доступу: [http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?art\\_id=231058&cat\\_id=35081](http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?art_id=231058&cat_id=35081).
7. Україна 2012 Основні положення та рекомендації. Загальна енергетична політика. Офіційний сайт International Energy Agency. Електронний ресурс. – Режим доступу: [www.iea.org/book](http://www.iea.org/book).
8. Офіційний сайт Державної служба геології та надр України. Електронний ресурс. – Режим доступу: <http://www.geo.gov.ua/palivno-energetichna-sirovina.html>.
9. Мица Н.В. Енергозабезпечення України: стан та перспективи / Н.В. Мица // Інноваційна економіка Всеукраїнський науково-виробничий журнал. Електронний ресурс. – Режим доступу: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/soc\\_gum/inek/2011\\_5/197.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/inek/2011_5/197.pdf).
10. Мінерально-сировинна база як чинник енергетичної безпеки України. Стан та перспективи Рудько Г.І. Презентація. Електронний ресурс. – Режим доступу: [http://www.niss.gov.ua/public/File/2012\\_table/Pr2\\_25\\_12\\_2012.pdf](http://www.niss.gov.ua/public/File/2012_table/Pr2_25_12_2012.pdf).
11. Офіційний сайт НАК «Нефтегаз України». Електронний ресурс. – Режим доступу: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/B823994467BCED9CC22570DD003285DA?OpenDocument&Expand=5&>.
12. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс: Навчальний посібник. – 2-е видання Х: «Видавництво САГА», 2008. – 320 с.
13. Казак В.М. Оцінка ефективності використання вітрової та сонячної енергетики в Україні / В.М. Казак, Я.М. Панченко, К.В. Ковбій // Наукоємні технології, 2009. № 3–4 (7–8). Електронний ресурс. – Режим доступу: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/nt/2010\\_3-4/16.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/nt/2010_3-4/16.pdf).
14. Відновлювана енергетика – невід’ємна частина паливно-енергетичного комплексу України Присвячено 95-річчю заснування Національної академії наук України Київ-2013 Інститут відновлюваної енергетики Національної академії наук України. Електронний ресурс. – Режим доступу: <http://ive.org.ua/wp-content/uploads/ive-nanu-2013-info.pdf>.
15. Тенденції розвитку відновлюваної енергетики. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. С. Кудря, Електронний ресурс. – Режим доступу: <http://gntb.gov.ua/files/conf07/kudrya.pdf>.
16. Офіційний сайт Государственного агентства по энергоэффективности и энергосбережению Украины. Електронний ресурс. – Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka>.
17. Енергетична стратегія України. Затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15.03.2006р. Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. Електронний ресурс. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>.
18. Гелетуа Г.Г. Возобновляемые источники энергии в Украине: стимулы и барьеры / Г.Г. Гелетуа, Т.А. Железная, О.И. Дроздова, А.И. Гелетуа // Пром.теплотехника, 2012, т. 34, №5. Електронний ресурс. – Режим доступу: [http://www.journal.esco.co.ua/industry/2013\\_5/art125.pdf](http://www.journal.esco.co.ua/industry/2013_5/art125.pdf).
19. Величко С.А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами). Навчально-методичний посібник для магістрантів. Науковий редактор проф. І.Г.Черваньов – Харків: Харківсь-

кий національний університет імені В.Н.Каразіна. – 2003. – 52с. Электронный ресурс. – Режим доступа: [http://geomonitoring.ucoz.org/\\_ld/0/2\\_VelychkoRenewab.pdf](http://geomonitoring.ucoz.org/_ld/0/2_VelychkoRenewab.pdf).

20. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні: потенціал, перешкоди і рекомендації щодо економічної політики Франк Майсснер і Фалько Укерд. Электронный ресурс. – Режим доступа: [http://www.ier.com.ua/files/Projects/2010/2010\\_13/BE-Studie-ErneuerbareEnergien-ukr\\_final.pdf](http://www.ier.com.ua/files/Projects/2010/2010_13/BE-Studie-ErneuerbareEnergien-ukr_final.pdf).

21. Легошин Д.В. Перспективи розвитку малої вітроенергетики в Україні / Д.В. Легошин. Электронный ресурс. – Режим доступа: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/vikit/2008\\_39/p\\_265-269.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/vikit/2008_39/p_265-269.pdf).

22. Атлас енергетичного потенціалу нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. Кудря С.О. та ін. – К.: НАН України; Ін-т електродинаміки та ін. 2001. – 41 с.

23. Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики, у 2012 році, Офіційний сайт Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики. Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://www.nerc.gov.ua/?id=2380>.

24. Саранчук В.І. Основи хімії і фізики горючих копалин / В.І. Саранчук, М.О. Ільшов, В.В. Ошовський, В.С.Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. – с. 640.

25. Гелетуха Г.Г. Место биоэнергетики в проекте обновленной энергетической стратегии Украины до 2030 года, Аналитическая записка / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная 2012. Официальный сайт Биоэнергетической Ассоциации Украины. Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://www.uabio.org/ru/activity/uabio-analytics>.

#### Bibliography (transliterated)

1. Malyarenko V.A. Analiz spozhivannya palivno-energetichnih resursiv Ukrayini ta yih ratsionalnogo vikoristannya. V.A. Malyarenko, I.E. Shcherbak. Energetichni ta teplotehnichni protsesi y ustatkuvannya. – Visnik NTU «NPI». 2013. # 14(988) – P. 118–126. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: [http://www.kpi.kharkov.ua/archive/Наукова\\_періодика/Вестник/Енергетичні\\_та\\_теплотехнічні\\_процеси\\_й\\_устаткування/2013/14/14\\_13\\_17.pdf](http://www.kpi.kharkov.ua/archive/Наукова_періодика/Вестник/Енергетичні_та_теплотехнічні_процеси_й_устаткування/2013/14/14_13_17.pdf).

2. Dzyadikevich Yu.V. Energetichniy menedzhment. Yu.V. Dzyadikevich, M.V. Buryak, R.I. Rozum. – Ternopil: Ekonomichna dumka, 2010. – 295 p.

3. Ivashchuk N.L. Analiticheskiy obzor energeticheskogo rynku Ukrainy. N.L. Ivashchuk, A.S. Zaverbnyy, A.V. Ivashchuk. Staliy rozvitok ekonomiki. Vseukrayinskiy naukovо-virobnichiy zhurnal. – 2012. #6 (16). – P. 7–13. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: [http://uniep.km.ua/upload-files/\\_6\\_2012.pdf](http://uniep.km.ua/upload-files/_6_2012.pdf).

4. Statistichniy shchorichnik Ukrayini za 2013 rik / Za red. O.G.Osaulenka. – K.: 2014. – 534 p. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: [http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/publ1\\_u.htm](http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm).

5. Ukrayina u tsifrah 2013 Statistichniy zbirnik. Za red. O.G.Osaulenka. – K.: 2014. TOV «Vidavnitstvo «Konsultant». – 240 p. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: [http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/publ1\\_u.htm](http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm).

6. Ofitsialnyy sayt Ministerstva energetiki ta vugilnoyi promislivosti Ukrayini. Statistichna informatsiya. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: [http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?art\\_id=231058&cat\\_id=35081](http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?art_id=231058&cat_id=35081).

7. Ukrayina 2012 Osnovni polozhennya ta rekomendatsiyi. Zagalna energetichna politika. Ofitsialnyy sayt International Energy Agency. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: [www.iea.org/book](http://www.iea.org/book).

8. Ofitsialnyy sayt Derzhavnoyi sluzhba geologiyi ta nadr Ukrayini. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: <http://www.geo.gov.ua/palivno-energetichna-sirovina.html>.

9. Mitsa N.V. Energozabezpechennya Ukrayini: stan ta perspektivi. N.V. Mitsa. Innovatsiyна ekonomika Vseukrayinskiy naukovо-virobnichiy zhurnal. Elektronnyy resurs.– Rezhim dostupa: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/soc\\_gum/inek/2011\\_5/197.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/inek/2011_5/197.pdf).

10. Mineralno-sirovinna baza yak chinnik energetichnoyi bezpeki Ukrayini. Stan ta perspektivi Rudko G. I. Prezentatsiya. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: [http://www.niss.gov.ua/public/File/2012\\_table/Pr2\\_25\\_12\\_2012.pdf](http://www.niss.gov.ua/public/File/2012_table/Pr2_25_12_2012.pdf).

11. Ofitsialnyy sayt NAK «Neftegaz Ukrainy». Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/B823994467BCED9CC22570DD003285DA?OpenDocument&Expand=5&>.

12. Malyarenko V.A. Energetichni ustanovki. Zagalniy kurs: Navchalniy posibnik. – 2-e vidannya H: «Vidavnitstvo SAGA», 2008. – 320 p.

13. Kazak V. M. Otsinka effektivnosti vikoristannya vitrovoyi ta sonyachnoyi energetiki v Ukrayini. V. M. Kazak, Ya. M. Panchenko, K. V. Kovbiy. Naukoemni tehnologiyi, 2009. # 3–4 (7–8). Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/nt/2010\\_3-4/16.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/nt/2010_3-4/16.pdf).

14. Vidnovlyuvana energetika – nevid’emna chastina palivno-energetichnogo kompleksu Ukrayini Prisyacheno 95-richchyu zasnuvannya Natsionalnoyi akademiyi nauk Ukrayini Kiyiv-2013 Institut vidnovlyuvanoyi energetiki Natsionalnoyi akademiyi nauk Ukrayini. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: <http://ive.org.ua/wp-content/uploads/ive-nanu-2013-info.pdf>.
15. Tendentsiyi rozvitku vidnovlyuvanoyi energetiki. Institut vidnovlyuvanoyi energetiki NAN Ukrayini. S. Kudrya, Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: <http://gntb.gov.ua/files/conf07/kudrya.pdf>.
16. Ofitsialnyy sayt Gosudarstvennogo agentstva po energoeffektivnosti i energosberezheniyu Ukrainy. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: <http://sae.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka>.
17. Energetichna strategiya Ukrayini. Zatverdzhena rozporyadzhennyam Kabinetu Ministriv Ukrayini vid 15.03.2006r. Ofitsialnyy sayt Ministerstva energetiki ta vugilnoyi promislovosti Ukrayini. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>.
18. Geletuha G.G. Vozobnovlyaemye istochniki energii v Ukraine: stimuly i barery. G.G. Geletuha, T.A. Zheleznaya, O.I. Drozdova, A.I. Geletuha. Prom.teplotehnika, 2012,t. 34, #5. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: [http://www.journal.esco.co.ua/industry/2013\\_5/art125.pdf](http://www.journal.esco.co.ua/industry/2013_5/art125.pdf).
19. Velichko S.A. Energetika navkolishnogo seredovishcha Ukrayini (z elektronnimi kartami). Navchalno-metodichniy posibnik dlya magistrantiv. Naukoviy redaktor prof. I.G. Chervanov – Harkiv: Harkivskiy natsionalniy universitet imeni V.N. Karazina. – 2003. – 52 p. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: [http://geomonitoring.ucoz.org/\\_ld/0/2\\_VelychkoRenewab.pdf](http://geomonitoring.ucoz.org/_ld/0/2_VelychkoRenewab.pdf).
20. Rozvitok vidnovlyuvanih dzherel energiyi v Ukrayini: potentsial, pereshkodi i rekomendatsiyi shchodo ekonomichnoyi politiki Frank Mayssner i Falko Ukerd. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: [http://www.ier.com.ua/files/Projects/2010/2010\\_13/BE-Studie-ErneuerbareEnergien-ukr\\_final.pdf](http://www.ier.com.ua/files/Projects/2010/2010_13/BE-Studie-ErneuerbareEnergien-ukr_final.pdf).
21. Legoshin D.V. Perspektivi rozvitku maloyi vitroenergetiki v Ukrayini. D.V. Legoshin. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/vikit/2008\\_39/p\\_265-269.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/vikit/2008_39/p_265-269.pdf).
22. Atlas energetichnogo potentsialu netraditsiyinih ta vidnovlyuvanih dzherel energiyi v Ukrayini. Kudrya S.O. ta in. – K.: NAN UkraYini; In-t elektrodinamiki ta in. 2001. – 41 p.
23. Zvit pro rezultati diyalnosti Natsionalnoyi komisiyi, shcho zdiysnyue derzhavne reguluyuvannya u sferi energetiki, u 2012 rotsi, Ofitsiyiniy sayt Natsionalnoyi komisiyi, shcho zdiysnyue derzhavne reguluyuvannya u sferi energetiki. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: <http://www.nerc.gov.ua/?id=2380>.
24. Saranchuk V.I. Osnovi himiyi i fiziki goryuchih kopalin. V.I. Saranchuk, M.O. Ilyashov, V.V. Oshovskiy, V.S. Biletskiy. – Donetsk: Shidniy vidavnichiy dim, 2008. – p. 640.
25. Geletuha G.G. Mesto bioenergetiki v proekte obnovennoy energeticheskoy strategii Ukrainy do 2030 goda, Analiticheskaya zapiska. G.G. Geletuha, T.A. Zheleznaya 2012. Ofitsialnyy sayt Bioenergeticheskoy Assotsiatsii Ukrainy. Elektronnyy resurs. – Rezhim dostupa: <http://www.uabio.org/ru/activity/uabio-analytics>.

УДК 621.31

Кулик М.І.

### АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

Проведений кількісний аналіз забезпечення України енергетичними ресурсами, як викопними так відновлювальними. Досліджено динаміку видобутку та споживання основних паливно-енергетичних ресурсів. Показано сучасний стан використання відновлювальних джерел енергії.

Kulyk M.I.

### ANALYSIS OF ENERGY RESOURCES OF UKRAINE

Qualitative analysis of energy resources (fossil and renewable) for Ukraine energy market is performed. Dynamics of extraction and consumption of fossil fuels is demonstrated. Modern state of the use of renewable energy use is shown

**УГЛЕТЕРМИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА ПЫЛЕЙ И ШЛАМОВ  
ОСНОВНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕРЕДЕЛОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ  
ОКАТЫШЕЙ**

**Введение.** На металлургических предприятиях в водогазоочистных системах агломерационного, доменного, сталеплавильного и прокатного производств ежегодно (текущий выход) образуется сотни тысяч и накоплено (в гидрозолопородоотвалах и шламохранилищах) миллионы тонн железосодержащих пылей и шламов (ЖПШ).

Оценка указанных ЖПШ как вторичного железосодержащего сырья показала, что массовая доля железа в них составляет от 40 до 72 %, что свидетельствует об их высокой ценности как металлургического сырья. С целью снижения затрат на складирование, удовлетворения требований по защите окружающей среды, а также замены дефицитных и дорогостоящих железорудного сырья и металлолома целесообразно вовлечение ЖПШ в полном объеме (текущие и накопленные) в сферу ресурсопотребления предприятия.

Анализ существующего положения по переработке и утилизации некондиционных ЖПШ показал [1], что из разработанных к настоящему времени способов переработки (гравитационные, гидрометаллургические, хлорирующего обжига, пирометаллургические) наибольшее распространение в практике металлургических предприятий получили пирометаллургические способы, сочетающие в себе процессы восстановления оксидов железа, цинка, свинца с возгонкой восстановленного цинка и других вредных для металлургического производства примесей, реализация которых, в большинстве своем, осуществляется во вращающейся трубчатой печи, а технологические схемы переработки аналогичны применяемой в цветной металлургии – «Вельц-процессу».

Нами разработана [2] новая эффективная технология переработки различных видов некондиционных железосодержащих отходов водогазоочисток металлургических предприятий. Технология основана на оптимальном технологическом режиме, испытанном [2, 3] в опытно-промышленных условиях ОАО «НЛМК» с использованием проб ЖПШ нескольких металлургических предприятий (ОАО «Макеевский металлургический комбинат» и Мариупольский МК им. Ильича, Енакиевский и Донецкий металлургические заводы – Украина; ОАО «НЛМК») и ОАО «ММК» – Российская Федерация. Выбранные образцы по качественному и количественному составам и физико-химическим свойствам являлись представительными некондиционными ЖПШ для всех предприятий черной металлургии.

В основу технологии положен принцип: получение сырьевой смеси с высокой степенью однородности, ее окомкование и термообработка во вращающейся печи. Основные компоненты – ЖПШ, вспомогательные – пылевидные отходы обжига доломита, отходы производства извести, маслоотходы прокатного производства, общезаводские отработанные нефтепродукты, отходы коксохимического производства. Нефтепродукты, входящие в состав маслокалиносодержащих отходов и общезаводские отработанные нефтепродукты обеспечивают возможность замены традиционного твердого восстановителя (кокс, уголь).

Термическая переработка окомкованной сырьевой смеси во вращающейся печи (технологическая схема, обеспечивающая технологию переработки, описана нами в [4]) с целью получения металлизированного продукта требует соответствующих условий обработки – восстановительная среда, определенная температура и давление в восстановительной зоне, на входе и выходе из печи.

**Изложение основного материала.** В данной работе, с целью определения оптимального режима по переработке сырьевой смеси, проведены опытные исследования процессов восстановления цинка, возгонки и отгонки из реакционной зоны, железа из его оксидов при различных соотношениях компонентов.

Для расчетов количественного состава шихты были использованы следующие оптимальные соотношения (массовые) основных (ЖПШ) и вспомогательных (кальций- или магнийсодержащие продукты) компонентов:

шлам прокатный: смесь остальных видов ЖПШ – (0,04–1,0):1;

пыль известковая (или пыль доломитосодержащая): смесь всех видов ЖПШ – (0,06–0,0095):1.

Указанные соотношения получены с помощью энтропийного метода [5], позволяющего рассчитывать равновесные концентрации компонентов химических реакций, протекающих при термообработке (от 950 до 1450 °С) шихты и оценить начальные концентрации компонентов шихты.

На основании анализа существующего опыта по дозировке материалов, аналогичных исследуемой

шихте, выбран способ дозировки, который заключается в следующем: ЖПШ, Са- или Mg - содержащие продукты, порошок бентонитовой глины дозируются из расходных бункеров в смесители электронными проходными весовыми дозаторами; гомогенизированная шихта из смесителя подается на окомкователь с помощью тарельчатого питателя ДТ-240 с автоматической стабилизацией нагрузки, смонтированного совместно с окомкователем.

Существенным фактором, влияющим на формирование структуры конечного (металлизованного) продукта, является гомогенность сырьевой смеси. В работе установлено, что степень гомогенизации смешиваемых исходных материалов в значительной мере зависит от порядка их смешивания и от типа смесительного аппарата.

Оптимальным порядком смешивания является: смешивание железосодержащих пылей и шламов (кроме шлама прокатного), затем смешивание полученной массы и шлама прокатного в стержневых мельницах; смешивание смеси ЖПШ и известь (или доломит) содержащей пыли в двухвальном смесителе.

С целью получения окускованного металлизованного продукта гомогенизированную шихту перед термической обработкой окомковывают. На основании анализа, существующего опыта по окомкованию шихт, аналогичных шихте указанного выше состава, выбран способ окомкования в дисковом (тарельчатом) окомкователе с добавкой, в качестве жидкой фазы, необходимого количества жидких маслоотходов или отработанных масел, распыляемых над движущей массой форсункой. При этом получены окатыши, близкие по форме к сферической (содержание в продукте фракций 10 мм составляет 1–2 %, 20–16 мм – 98–99 %) с прочностью 4,41 МПа и влажностью не выше 8 %. Удельный расход маслоотходов на окомкование составляет 0,0045–0,005 л/т шихты. Оптимальные параметры окомкования: при  $d = 3,0$  м тарелки угол наклона –  $45^\circ$ , скорость вращения – 15–20 об/мин. Для примера, в таблице 1 приведен химический состав сырых окатышей, полученных из ЖПШ «ММК» (РФ).

Таблица 1 – Химический состав окомкованных (сырых) окатышей

Сод. бентонита	Сод. нефтепрод.	$H_2O$	C	S	P	Pb	Zn	Cr	$Na_2O$	$K_2O$	$TiO_2$	MnO	MgO	CaO	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$Fe_3O_4$	$Fe_2O_3$	FeO	$Fe_{обм}$
0,37	0,54	10,46	0,05	0,30	0,14	0,14	0,95	0,10	0,096	0,10	0,10	0,41	1,19	6,98	1,30	5,97	3,03	49,80	17,97	51,00

Опыты показали, что повышение прочности более 4,41 МПа, например, сушкой, нецелесообразно, ввиду снижения, из-за появления значительных диффузионных сопротивлений, степени возгонки цинка при восстановительной обработке окатышей. В то же время указанная прочность вполне удовлетворительна для перемещения сырых окатышей к месту их переработки.

Термическая переработка сырьевой смеси во вращающейся печи с целью получения металлизованного продукта требует соответствующих условий обработки – восстановительная среда, определенные температура и давление в восстановительной зоне, на входе и выходе печи. Режим обезвоживания смеси и восстановления металлов из их соединений обеспечивается путем обработки сырьевой смеси продуктами сжигания жидких маслоотходов в циклонной печи, при соответствующих коэффициентах расхода воздуха ( $\alpha < 1$ ) и температуре сжигания, и продуктами пиролиза нефтепродуктов, содержащихся в сырьевой смеси. В процессе испытаний было установлено, что при различных коэффициентах расхода воздуха и температурах органические соединения маслоотходов, вследствие их сложного состава претерпевают различные превращения. При коэффициенте расхода воздуха 1,0–1,2 и температуре сжигания не ниже  $1000^\circ C$  все органические соединения практически полностью окисляются с малым химическим недожогом (содержание в отходящих газах CO – до 0,2 % (об.)), а при коэффициенте расхода  $< 0,9$  и температуре более  $1150^\circ C$  (оптимальная температура  $1200$ – $1250^\circ C$ ) из распыленных капель, за время их витания в топке, легкие углеводороды испаряются и окисляются с образованием оксида углерода (содержание в отходящих газах CO – 5–12 % (об.)), а тяжелые ароматические углеводороды глубоко разлагаются (пиролизуются) с образованием углеродсодержащих восстановителей (оксид углерода, метан, сажа) и водорода с общим содержанием 10–15 % (об.). В такой восстановительной среде оксиды металлов, входящие в состав маслоотходов, практически полностью восстанавливаются до свободного металла с образованием железного порошка.

В процессе пиролиза масел шлама прокатного протекают сложные химические реакции, характер которых определяется составом шлама и условиями процесса. Сущность химических превращений харак-

теризується двома групами реакцій – первичних реакцій розпаду (деструкції), ведучих к образованию большого количества свободных радикалов и вторичных реакцій – синтеза новых углеводородов, образующихся в результате реакцій асоціації продуктів, термического распада.

Для исследования термических преобразований шлама прокатного производства был применен метод дифференциально-термического анализа, позволяющего изучить тепловые изменения в процессах превращения шлама при нагревании путем измерения разности температур образца и инертного вещества, а также изучить характер изменения массы компонентов в процессе нагревания, так как реакции деструкции протекают с удалением летучих из реакционной зоны.

Исследования проведены на дериватографе «Паулик, Паулик и Эрдэй» (Венгрия) в следующем режиме: скорость нагрева 10 °С/мин, конечная температура процесса – 900 °С; подача воздуха отсутствовала.

На рисунке 1 представлена дериватограмма шлама прокатного ОАО «ММК», имеющая следующие кривые: кривую термических эффектов (ДТА), кривую потери массы (ТГ) и дифференциальную кривую изменения скорости потери массы (ДТГ).

На термограмме имеются характерные пики, связанные с протеканием тех или иных процессов термодеструкции. Эндотермический эффект, наблюдаемый при температурах 100–180 °С связан с затратой тепла на испарение влаги. Глубина этого пика и содержание воды находятся в прямой зависимости. Кривая потери массы, характер ее изменения в этом температурном интервале указывают на содержание влаги около 36 % (мас.). Помимо влаги здесь выделяются легкие углеводороды (около 5 % (мас.)), переходящие в парогазовую фазу при этих температурах.

При температуре 280–300 °С наблюдается начало второго эндотермического эффекта, связанного с началом термодеструкционных процессов. Сравнивая характер термограммы в этом температурном интервале с динамикой потери массы, можно заметить, что «вторая ступень» потери массы – газовыделение основной массы летучих продуктов термодеструкции, – начинается при температуре 240 °С.

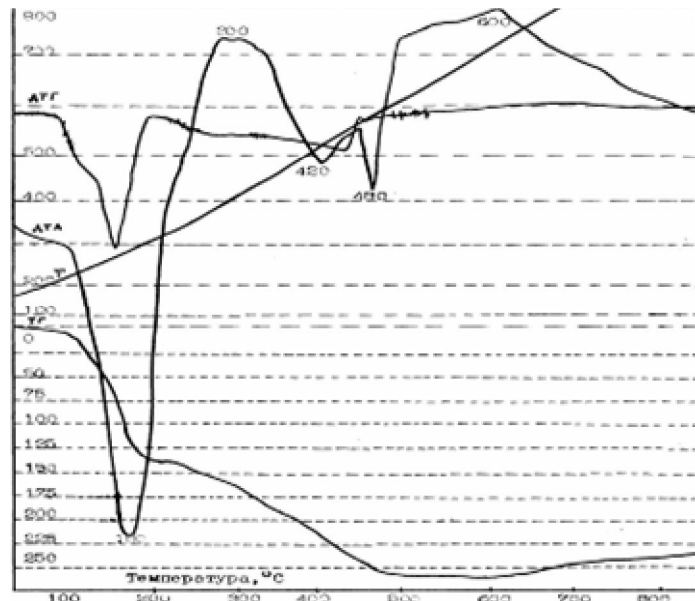


Рисунок 1 – Дериватограмма прокатного шлама

Несовпадение начала эндотермического эффекта и начала выделения летучих веществ свидетельствует о том, что газовыделению предшествует скрытый период термодеструкции нефтепродуктов шлама. Этот разрыв в некоторой степени объясняется трудностью эвакуации газообразных веществ из массы образца, вследствие чего газовыделение несколько задерживается. Этот эндотермический эффект заканчивается при температуре 420 °С. Потеря массы в этом интервале составляет 25 %.

При температуре 480 °С наблюдается еще один эндотермический эффект, связанный с термодеструкцией более термостойких структур нефтепродуктов, доля которых, судя по кривым потери массы, невелика.

Термодеструкционные процессы заканчиваются пиком при 480 °С, который является следствием начала экзотермического эффекта, связанного с состоянием высокой активности остатков деструкции ввиду образования свободных радикалов и началом реакцій поликонденсации. Обычно реакции поликонденсации сопровождаются положительным тепловым эффектом. Судя по характеру приведенной термограммы, экзотермический эффект имеет место при температурах вплоть до 600 °С. При дальнейшем по-



вышении температуры (до 700 °С) наблюдается экзотермический эффект, объясняемый тем, что в этой области температур происходит увеличение межсеточной упорядоченности и рост конденсированных углеродистых сеток с одновременным отсутствием водорода.

Таким образом, пиролиз шлама прокатного и получение из него газообразного и твердого углеродсодержащего восстановителя складывается из следующих стадий:

100–180 °С – стадия сушки, удаления влаги;

240–480 °С – протекание процессов термодеструкции, образование свободных радикалов, выделение парогазовых продуктов (углеводородов, кипящих в этом температурном интервале);

480–600 °С – развитие процессов поликонденсации; начало образования твердого остатка (сажа);

600–900 °С – рост конденсированных углеродистых сеток, дальнейшее формирование структуры твердого остатка.

В условиях термообработки во вращающейся печи термодеструкционные процессы в сырьевой смеси практически совмещены во времени. Как показал анализ парогазовых проб, удаление влаги происходит в начале печи (примерно до 1/5 ее длины), образование высокорекреационных форм восстановителей – примерно от 2/5 до 4/5 длины печи (реакционная восстановительная зона). Причем, в реакционной зоне, в силу мощного развития восстановительных процессов, процессы поликонденсации практически подавлены, а образующийся активный углерод газифицируется с образованием оксида углерода.

С целью определения оптимального режима по переработке сырьевой смеси были проведены исследования процессов восстановления цинка, его возгонки и отгонки из реакционной зоны, железа из его оксидов при различных соотношениях в ней компонентов. Коэффициент расхода воздуха на окисление топлива в циклонной печи изменяли от 0,45 до 0,95; температуру теплоносителя – от 900 до 1500 °С при разрежении во вращающейся печи от 14 до 165 Па и температуре отходящих продуктов обработки в пределах 400–750 °С.

Углетермическое восстановление оксидов металлов относится к числу сложнейших гетерогенных процессов и может рассматриваться как комплекс последовательных и параллельных этапов. Ими являются химические превращения, происходящие на реакционных поверхностях частиц компонентов смеси, процессы подвода восстановителя извне и отвода газообразных продуктов восстановления из реакционной зоны посредством диффузии.

Роль каждого из химических превращений и этапов переноса масс в суммарном процессе термодеструкции и восстановления зависит от температуры и давления в системе, природы углеродистого восстановителя и оксидов металлов, степени контактирования фаз и степени восстановления.

Учитывая достаточно совершенный контакт компонентов шихты с восстановителем (органические соединения нефтепродуктов) и многократный избыток высокорекреационного восстановителя, можно утверждать, что доминирующую роль в процессе восстановления металлов играют прочность ряда химических соединений цинка (ферриты, сульфаты, силикаты, сульфиды), скорость диссоциации оксидов металлов и диффузия (отгонка) летучих металлов (цинк, свинец).

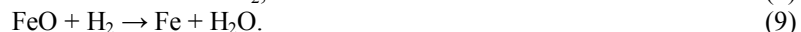
Как показали термодинамические расчеты в среде газообразных восстановителей (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO) и углерода, восстановление железа из его оксидов протекает по такой схеме:

– восстановление оксида железа до магнетита завершается при температуре до 700 °С;

– восстановление магнетита до закиси железа – в интервале 700–900 °С

– восстановление закиси железа до свободного металла завершается при температуре 1150–1200 °С

Процесс восстановления металлического железа можно представить в виде следующих окислительно-восстановительных реакций:



Результаты экспериментальных исследований по восстановлению железа из его оксидов, в которых степень металлизации определяли по результатам химического анализа образцов конечного металлизированного продукта, представлены на рис. 2. Из этого рисунка видно, что температура обработки положительно влияет на восстановление оксидов железа при всех исследованных коэффициентах расхода воз-

духа. Наиболее интенсивно процесс металлизации протекает в первые 5–15 мин. обработки. Максимальная степень металлизации (около 99 %) достигнута при коэффициенте расхода воздуха ( $\alpha$ ) на сжигание топлива 0,5–0,9 и температуре обработки от 1150 до 1450 °С. В атмосфере, содержащей кислород и углекислоту ( $\alpha=0,95-1,2$ ) наблюдается вторичное окисление восстановленного железа. Повышение температуры (>1250 °С) несколько замедляет вторичное окисление, что связано, по-видимому, с развитием процессов оплавления металлического железа, которые вызывают и уменьшение реакционной поверхности.

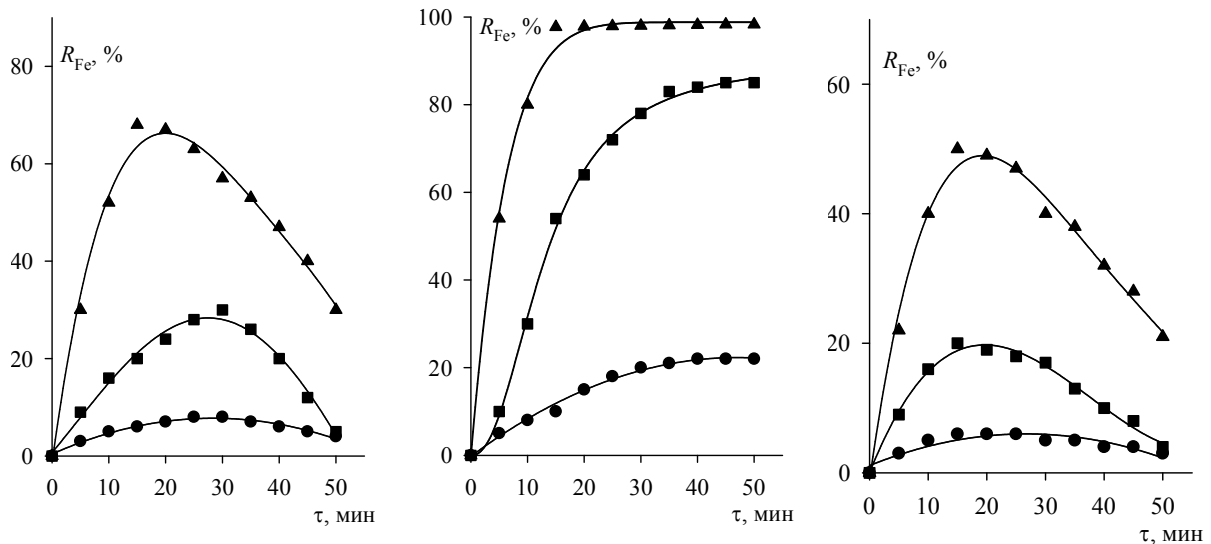


Рисунок 2 – Зависимость степени металлизации ( $R_{Fe}$ ) от коэффициента расхода воздуха ( $\alpha$ ) на сжигание топлива, температуры теплоносителя ( $t$ , °С) и времени ( $\tau$ ) обработки сырьевой смеси:  
а)  $\alpha = 0,5 \div 0,9$ ; б)  $\alpha = 0,95 \div 1,00$ ; в)  $\alpha = 1,0 \div 1,2$ . В диапазоне температур:

- ▲— от 1150 до 1450 °С
- от 1000 до 1150 °С
- от 900 до 1000 °С

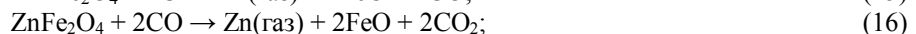
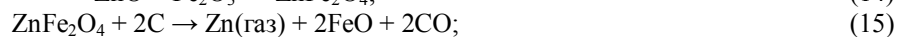
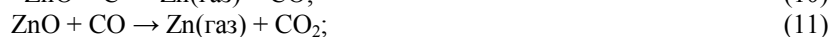
Согласно данным, приведенным в [6,7], зависимость давления насыщенного пара цинка ( $P_{Zn}$ ) в интервале от температуры его плавления (420 °С) до температуры кипения цинка (907 °С) описывается уравнением:

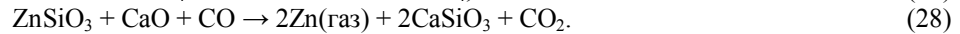
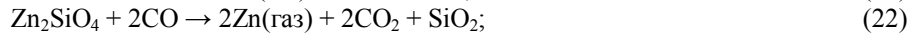
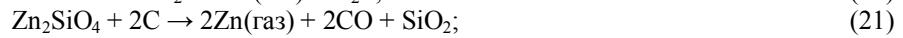
$$\lg P_{Zn} = -882,59T^{-1} - 0,1661\lg T + 1,645.$$

Из уравнения следует, что при температуре 907 °С давление паров цинка равно атмосферному. Дальнейший анализ этого уравнения показывает, что повышение температуры приводит к резкому возрастанию давления насыщенного пара, которое при 950 °С составляет 152,6 кПа, а при 1200 °С – 967,9 кПа. Таким образом, при высоких температурах в восстановительной атмосфере цинк имеет высокие парциальные давления насыщенного пара и может быть удален из сырых железосодержащих окатышей (ЖО).

С целью изучения условий, влияющих на восстановимость цинка из его соединений, диффузию (возгонку) его паров и удаление из реакционной зоны, исследования по обесцинкованию ЖО были проведены в два этапа: на первом этапе исследовались образцы ЖО без добавки кальций- или магнийсодержащих продуктов, на втором – с добавками.

Реакции восстановления цинка из его соединений по обоим этапам обесцинкования ЖО можно представить в виде следующих уравнений:





Результаты исследований представлены в виде графических зависимостей: по первому этапу – на рисунках 3–5, по второму этапу – на рисунке 6. Из рис. 3 видно, что имеются две основные области процесса отгонки, лежащие в интервале температур 950–1080 °С и 1080–1200 °С. Это объясняется тем, что по мере продвижения шихты в восстановительную зону происходит вытеснение зоны реакции восстановления из объема слоя шихты на ее поверхность с соответствующим резким увеличением скорости возгонки паров цинка (переход на диффузионный режим отгонки).

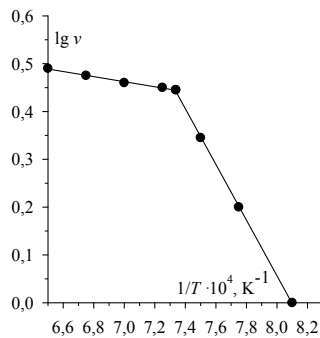


Рисунок 3 – Зависимость скорости ( $v$ ) отгонки Zn от обратной температуры ( $1/T$ ) при одинаковой скорости вращения печи, времени обработки сырьевой смеси и коэффициенте расхода воздуха на сжигание топлива

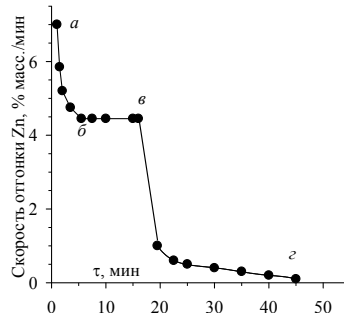


Рисунок 4 – Изменение скорости отгонки Zn во времени ( $\tau$ ) при 1150 °С, скорости вращения печи 2 об/мин и коэффициенте расхода воздуха 0,7

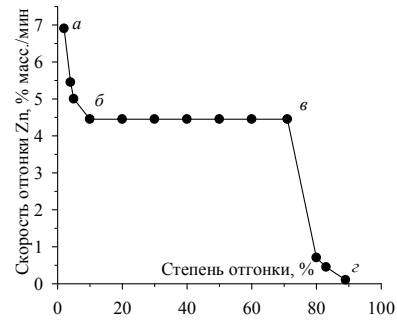


Рисунок 5 – Зависимость скорости отгонки Zn от степени ее полноты, при 1150 °С, скорости вращения печи 2 об/мин и коэффициенте расхода воздуха 0,7.

В связи с этим возрастает роль скорости обновления поверхности, т.е. скорости перемешивания шихты. Но прежде чем перейти к обсуждению этого вопроса, следует рассмотреть влияние различной прочности ряда соединений цинка, разлагаемых с образованием летучего металла, на скорость отгоночного процесса. На рис. 4 и 5 приведены изотермы скорости отгонки цинка, полученные при 1150 °С, на которых явно выражены два излома: первый соответствует отгонке до 20 % Zn и трехминутной выдержке шихты в печи, второй – отгонке 5–80 % Zn и 20-минутной выдержке. Между изломами скорость отгонки остается постоянной. Поскольку опыты проводились при избытке восстановителя в шихте, т.е. в условиях, обеспечивающих влияние на скорость процесса отгонки только содержания цинка, следует предположить, что цинк находится в ЖО в форме различных соединений и обуславливает полученные изломы на кривых скорости процесса. Действительно, рентгеноструктурный анализ ЖО показал, что примерно 2 % общего содержания цинка в шихте находится в металлическом состоянии, примерно 14 % – в виде оксида, примерно 69 % – в виде силиката и феррита и оставшиеся 15 % – в различных других формах (сульфат, сульфид и др.). Исходя из этого, можно следующим образом расшифровать полученную зависимость скорости отгонки цинка:

- участок а – б выражает зависимость скорости отгонки цинка, содержащегося в ЖО в виде металла;
- участок б – в соответствует зависимости скорости процесса при восстановлении оксида цинка;
- участок в – г – изменение скорости при незначительной степени восстановления цинка из силиката, феррита и прочих соединений.

Как было показано выше, при 1150 °С процесс отгонки протекает в диффузионной области, причем

кінетическая изотерма имеет два излома. По-видимому, следует остановиться на этом вопросе с точки зрения лимитирующего диффузионного этапа. В самом деле, если причиной возникновения изломов на кинетической кривой является химический фактор, т.е. различная прочность восстанавливаемых соединений, то следует выяснить как этот фактор отражается на физическом процессе диффузии, который в обоих случаях является лимитирующей стадией процесса. Очевидно, в объеме печи происходят следующие явления: диффузия паров цинка и продуктов сжигания топлива, поступающих из циклонной печи, в массе шихты; взаимодействие продуктов сжигания с соединениями цинка в месте их встречи – фронте реакций восстановления; диффузия газообразных продуктов восстановления в массе шихты и удаление их и паров цинка из объема печи.

Опыты показали, что изменения скорости вращения печи (интенсивность перемешивания шихты) не влияют на степень отгонки цинка, восстановленного из свободного его оксида и начинают заметно сказываться лишь во время отгонки цинка, восстановленного из трудновосстановимых его соединений. Как показали термодинамические расчеты, при 1150 °С диффузия паров цинка, полученных восстановлением его свободного оксида, должна протекать в условиях большого градиента давления, ускоряющего процесс отгонки. Этот градиент снижается, в среднем, в 7,5 раза при переходе к отгонке паров цинка, полученных из связанных форм оксида, что, очевидно, вызывает резкое изменение соотношения скоростей диффузии паров цинка и продуктов сжигания топлива, и в свою очередь, снижает степень обесцинкования ЖО (степень обесцинкования составляет примерно 16 %).

Для интенсификации процесса отгонки паров цинка требуются мероприятия, которые бы способствовали совмещению процессов разложения трудновосстановимых соединений цинка и его восстановления с процессом восстановления из свободного его оксида. Такое совмещение возможно при обработке ЖО с добавками кальций- или магнийсодержащих продуктов. При этом, как и в случае восстановления железа, максимальная степень удаления цинка из ЖО (99,99 %) достигнута при коэффициенте расхода воздуха  $\alpha=0,5-0,9$  и температуре обработки от 1150 до 1450 °С (рис. 6), а скорости восстановления цинка и отгонки его возгонов (средние по массе), соответственно, равные 3,9–4,3 и 4,3–4,6 % мас./мин., идентичны данным, приведенным на рис. 4 и 5 для оксида цинка (участок б–в). Указанные добавки способствуют разложению ферритов, силикатов, сульфатов, сульфидов цинка с образованием оксида цинка и соответствующих ферритов, сульфатов и силикатов кальция или магния, что связано с более высоким термодинамическим сродством оксидов железа и кремния к оксидам кальция или магния, чем к оксиду цинка. Кроме того, указанные добавки способствуют увеличению тугоплавкости шихты и температурного интервала спекаемости металлizedанного продукта, в результате чего в зоне восстановления металла не образуется оплавленного материала, что обеспечивает увеличение скорости восстановления и возгонки цинка из шихты почти вдвое и степени обесцинкования до 99,99 %.

Опыты показали, что отгонку паров цинка из восстановительной зоны можно интенсифицировать уменьшением толщины слоя паров, прилегающего к поверхности шихты, за счет создания разрежения в зоне восстановления не выше 160 Па при перемешивании шихты, что возможно только в условиях вращающейся печи.

После завершения процессов отгонки цинка и металлизации шихты примерно на 1/5 длины печи от выхода происходит окончательное формирование структуры металлizedанного продукта: резкая усадка, оплавление поверхности и уплотнение структуры кусков при одновременном росте сопротивления их раздавливанию (в холодном состоянии). Металлизированный продукт на воздухе склонен к вторичному окислению и даже самовозгоранию, которое начинается вследствие интенсивного протекания экзотермических реакций окисления свежевосстановленного железа кислородом воздуха и парами воды.

Анализ результатов исследований по самовозгоранию конечного продукта показал, что оплавленная поверхностная пленка пористого продукта предотвращает окисление восстановленного железа и развитие кристаллохимических превращений, способствующих самовозгоранию продукта. Установлено также, что основными условиями, обеспечивающими получение металлizedанного продукта, устойчивого против самовозгорания являются: высокая степень металлизации и однородность продукта по гранулометрическому составу; равномерное охлаждение продукта до температуры ниже 50 °С; хранение готового продукта в условиях, исключающих интенсивный обмен воздуха, например, в герметичных контейнерах марки СК-2-5.

При изучении физико-механических и металлургических свойств получаемого металлizedанного продукта установлено следующее:

По металлizedанным окатышам: средний химический состав продукта следующий (% мас.): Fe<sub>общ</sub> – 90,18; Fe<sub>мет</sub> – 87,88 (степень металлизации 97,45 %); FeO-2,96; CaO-3,66; MgO-0,61; SiO<sub>2</sub>-2,46; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,82; C – 1,60; S – не более 0,003; Zn – не более 0,01 (степень обесцинкования 99,99 %), свинец, хлор, фосфор, оксиды натрия и калия отсутствуют; степень основности (CaO + MgO / SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 1,3.

Гранулометрический состав: содержание в продукте фракций 25–10 мм – 98 %, 10–5 мм – 1,98 %, 0,5–

0 мм – 0,02 %.

Физико-механические и металлургические свойства металлизированных окатышей следующие:

– прочность на сжатие – не менее 216 кг/окатыш;  
 – общая пористость ( $\epsilon$ , %): 20,27 для фракции 25–10 мм; 17,25 для фракции 10–5 мм;  
 – газопроницаемость (перепад давления восстановленного газа в слое – АР, Па) 10,0 для фракции 25–10 мм; 20,25 для фракции 10–5 мм.

– прочность на раздавливание, кН/окатыш – 2,16–2,18.

После испытаний в барабане выход фракции 0,5–0 мм составил 0,01–0,03 %; содержание фракций 10–5; 10; 25–10 мм (преимущественно) составляет 97,8–99,7 %.

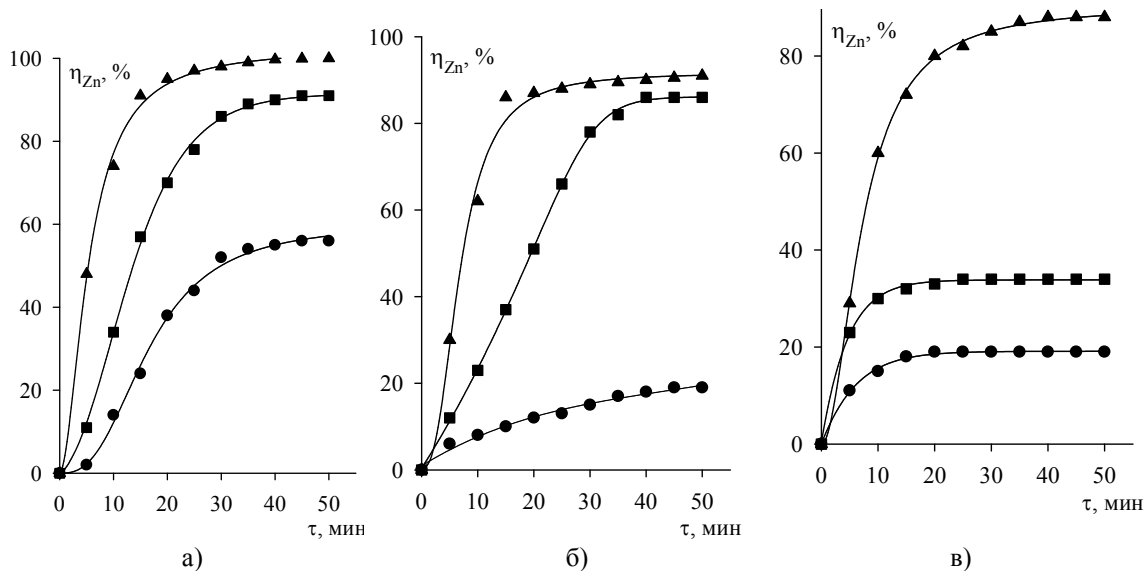


Рисунок 6 – Зависимость степени удаления ( $\eta_{Zn}$ ) цинка от коэффициента расхода воздуха ( $\alpha$ ), температуры теплоносителя ( $t$ , °C) и времени ( $\tau$ ) обработки сырьевой смеси:

а)  $\alpha = 0,5 \div 0,9$ ; б)  $\alpha = 0,95 \div 1,00$ ; в)  $\alpha = 1,0 \div 1,2$ . В диапазоне температур:

- ▲ от 1150 до 1450 С
- от 1000 до 1150 С
- от 900 до 1000 С

**Выводы.** Результаты исследования процессов восстановления железа и цинка из их соединений показали, что проведение полного цикла формирования из сырьевой смеси ЖПШ и вспомогательных материалов термически устойчивой и механически прочной окускованной массы с полным разложением трудновосстановимых соединений цинка, его восстановлением, возгонкой и удалением в виде паров и высокой степенью восстановления оксидов железа возможно при осуществлении следующего оптимального режима процесса термической переработки некондиционных ЖПШ: коэффициент расхода воздуха на сжигание топлива 0,7–0,9; температура продуктов сжигания топлива 1200–1250 °C; разрежение во вращающейся печи 140–160 Па; температура отходящих пылегазовых продуктов обработки 450–500 °C.

#### Литература

1. Лисин В.С., Скороходов В.Н., Курунов И.Ф. и др. Современное состояние и перспективы рециклинга цинксодержащих отходов металлургического производства // БНТИ Черная металлургия. 2001. Приложение № 6.
2. Ульянов В.П., Булавин В.И., Дмитриев В.Я. и др. Переработка некондиционных железосодержащих пылей и шламов металлургических переделов // Сталь, 2002. – № 12. – С. 69–75.
3. Патент Российской Федерации № 2404217. Способ переработки некондиционных железо- и цинксодержащих отходов металлургического производства / Патентообладатель ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / № 2009107657/02; заявлено 03.03.2009; опубл. 20.10.2010. Бюл. № 32.
4. Ульянов В.П., Булавин В.И., Крамаренко А.В., Ульянова И.В., Пермяков Ю.В. Технологическая схема переработки некондиционных железосодержащих пылей и шламов основных металлургических

переделов с получением металлизированного продукта // Вестник НТУ «ХПИ».– 2014.– №51(1093).– С. 111–128.

5. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. – М.:Химия, 1975. – 535 с.

6. Кубашеский О.О., Оллок С.Б. Metallurgical thermodynamics. – М.: Metallurgy, 1982. – 392 с.

7. Перспективы комплексной утилизации цинксодержащих шламов основных переделов черной металлургии в плазменных печах / Фролов В.А., Алексаночкин О.А., Рабинович А.М. и др. // Сталь. 1991. № 7. С. 80–84.

Bibliography (transliterated)

1. Lisin V.S., Skorohodov V.N., Kurunov I.F. i dr. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy retsiklinga tsink-soderzhaschih othodov metallurgicheskogo proizvodstva. BNTI Chernaya metallurgiya. 2001. Prilozhenie # 6.

2. Ulyanov V.P., Bulavin V.I., Dmitriev V.Ya. i dr. Pererabotka nekonditsionnykh zhelezosoderzhaschih pyiley i shlamov metallurgicheskikh peredelov. Stal, 2002. – # 12. – P. 69–75.

3. Patent Rossiyskoy federatsii # 2404217. Sposob pererabotki nekonditsionnykh zhelezo- i tsink-soderzhaschih othodov metallurgicheskogo proizvodstva. Patentoobladatel OAO «Magnitogorskiy metallurgicheskii kombinat» # 2009107657/02; zayavleno 03.03.2009; opubl. 20.10.2010. Byul. # 32.

4. Ulyanov V.P., Bulavin V.I., Kramarenko A.V., Ulyanova I.V., Permyakov Yu.V. Tehnologicheskaya shema pererabotki nekonditsionnykh zhelezosoderzhaschih pyiley i shlamov osnovnykh metallurgicheskikh peredelov s polucheniem metallizovannogo produkta. Vestnik NTU «ХПИ».– 2014.– #51(1093).– P. 111–128.

5. Kireev V.A. Metody prakticheskikh raschetov v termodinamike himicheskikh reaktsiy. – М.:Химия, 1975. – 535 p.

6. Kubasheskiy O.O., Ollok S.B. Metallurgicheskaya termohimiya. – М.: Metallurgiya, 1982. – 392 p.

7. Perspektivy kompleksnoy utilizatsii tsink-soderzhaschih shlamov osnovnykh peredelov chernoy metallurgii v plazmennyykh pechakh. Frolov V.A., Aleksanochkin O.A., Rabinovich A.M. i dr. Stal. 1991.

УДК 669.054.8

Ульянов В.П., Булавин В.И., Крамаренко А.В., Ульянова И.В.

**УГЛЕТЕРМІЧНЕ ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ ФЕРУМУ ПИЛІВ І ШЛАМІВ ОСНОВНИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПЕРЕДІЛІВ З ОДЕРЖАННЯМ МЕТАЛІЗОВАНИХ ОКАТИШІВ**

У статті запропонований спосіб відновної переробки ферумвмісних пилів і шламів металургійних переділів з отриманням металізованих окатишів. Проведено експериментальні дослідження процесів відновлення Феруму з його оксидів при різних співвідношеннях компонентів, відновлення Цинку, сублімації і відгону його з реакційної зони (знецинкування).

Ulyanov V.P., Bulavin V.I., Kramarenko A.V., Ulyanova I.V.

**CARBOTHERMIC REDUCTION OF IRON OXIDES FROM DUSTS AND SLUDGES OF MAIN METALLURGICAL CONVERSIONS WITH OBTAINING OF METALLIZED PELLETS**

The article provides a method of reduction of iron oxides from dusts and sludges of metallurgical processes to obtain metallized pellets. The experimental studies of the processes of recovery of iron from its oxides with different ratios of components, zinc recovery, distillation and stripping it from the reaction zone (dezincification) have been carried out.

Бирюков И.Ю., Сиренко С.Н.

### ИНТЕГРАЦИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАЗВЕДКИ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ОГНЕМ ТАНКА

Эффективность управления объектом бронетанковой техники (БТТ) определяется полнотой потока информации, поступающей к экипажу (оператору) и, в первую очередь, – командиру боевой машины (БМ). Долгое время основными каналами поступления информации был и остается до настоящего времени визуальный. Технические средства этого канала непрерывно совершенствуются и прошли путь от смотровых приборов в корпусе БТТ до оптических панкратических приборов, приборов ночного видения, тепловизоров и радиостанций [1–3].

Широкое внедрение информационных технологий с одной стороны, и изменение взглядов на формы и методы ведения вооруженной борьбы с другой, привели к формированию новых концепций применения сил специального назначения, в основе которых лежит иерархически построенная информационно-управляющая система [4].

Необходимо подчеркнуть, что работы по разработке боевой системы будущего (Future Combat Systems (FCS)) были начаты в США еще в 2000 году.

Однако отечественные образцы БТТ на современном этапе содержат лишь отдельные компоненты, но еще не интегрированы в боевую информационно-управляющую систему. По-видимому это связано с отсутствием концептуального видения такой системы. Нет в отечественных БМ и бортового диагностического информационного комплекса, позволяющего в полной мере использовать технические возможности, заложенные при различных условиях ее функционирования.

Соответственно и современные системы разведки объектов БТТ имеют недостаточную видимость оптических, оптико-электронных и электронно-оптических приборов, лазерных дальномеров, отсутствуют возможности оперативного обнаружения, распознавания и идентификации наземных целей. Для повышения показателей обнаружения типовых целей необходимо решить задачу разведки наземной цели (рис. 1).

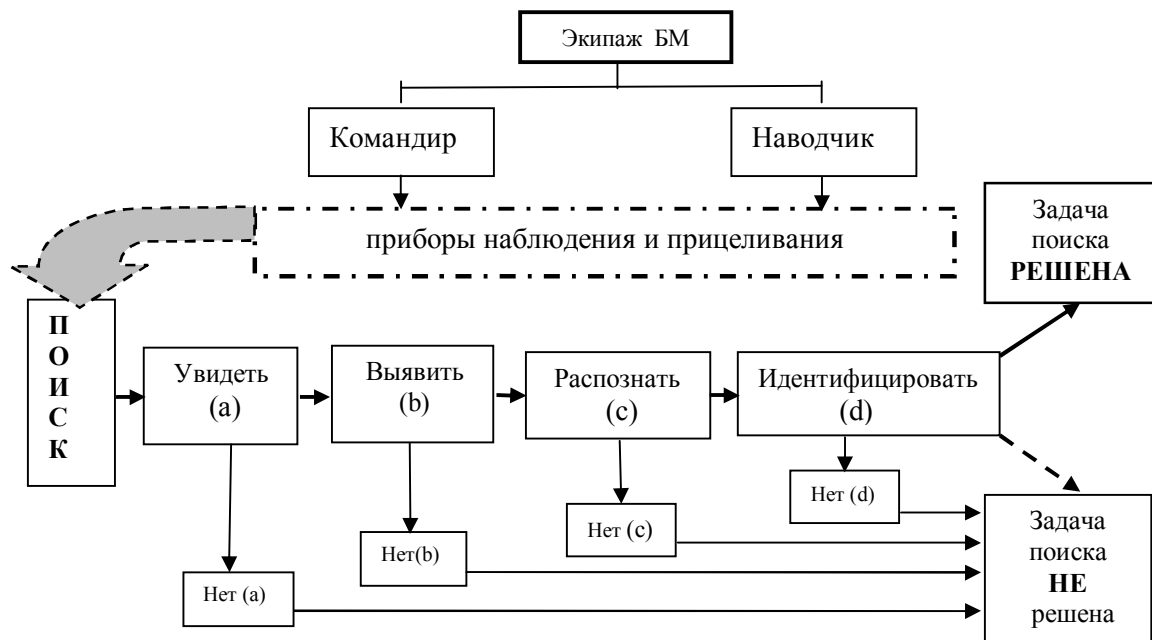


Рисунок 1 – Задача разведки наземных целей

а – для того, чтобы увидеть объект можно воспользоваться так называемыми критериями Джонсона, разработанными для использования в военных целях; б – чтобы определить наличие объекта в поле зрения минимальное из его измерений должно быть представлено на операторском экране полутора или более пикселям; с – распознать объект – значит классифицировать его по типу, при этом оператор должен мгновенно определить по изображению, попал ли в кадр объект БТТ (считается достаточным, чтобы критический размер объекта составлял 6 и более пикселей); d – идентификация цели заключается в определении принадлежит ли объект противнику или "нам", при этом его критический размер должен быть представлен 12-ю и более пикселями

Эти критерии обеспечивают 50 % вероятности того, что оператор примет верное решение исходя из картинки на экране. Так тепловизионные системы, имеющие достаточное разрешение, видят удаленный на 1 км объект высотой 0,75 метра 6 пикселями. Если изображение объекта в достаточной степени контрастирует с фоном, то система имеет высокую вероятность распознавания объектов на расстояниях до 1 км [5, 6].

Боевая информационно-управляющая система (БИУС) предназначена для информационного обеспечения принятия решений командиром БМ в реальном масштабе времени с помощью дополнительной оптико-акустической системы разведки наземных целей (ДОАСР) и проведения оперативного целеуказания. Назначение БИУС позволяет определить и ее функции, которые приведены в [4].

По форме представления это визуализированная информация, с применением геоинформационной системы (ГИС) на планшете с выборочным голосовым дублированием.

На основе перечисленных данных формируется перечень показателей, баз и банков данных, обеспечивающих работу БИУС. Поэтому очевидно, что в соответствии с разработанным перечнем объекты БТТ необходимо оборудовать комплексом датчиков, сенсорных устройств, дополнительных подсистем:

- оптико-электронных, оптико-акустических, тепловизионных для автоматического обнаружения, сопровождения, распознавания и идентификации наземных целей;
- внешних условий, а именно химического и радиационного зондов, контроля климатических условий, предупреждения о лазерной подсветке, ракетной атаке;
- внутреннего состояния – технического состояния БМ и вооружения, физическое состояние экипажа.

Одной из функций БИУС, определяющей ее структуру, предполагается наличие бортового модуля с ГИС и навигационной системой. При этом ГИС обеспечит высокую точность определения географических и прямоугольных координат точечных и размеров линейных объектов БТТ. Высокая точность снятия координат достигается за счет привязки левых верхних углов листов топографических карт (растровых файлов) и географических (прямоугольных) координат на земном шаре.

Так, для того, чтобы установить систему отношений между внутренними пиксельными координатами изображения и реальными географическими или прямоугольными координатами в ArcView используется специальный файл привязки. Файл создается в процессе регистрации изображения топографической карты, часто сопровождается ее трансформацией из одной системы координат в другую. Наличие подобного файла приводит способность программы совмещать растровый файл с графическими материалами, которые уже находятся в определенной системе координат [7].

Внешний файл привязки имеет больший приоритет, таким образом, если растр карты имеет еще и внутреннюю привязку и внешний файл, то в ArcView GIS он будет ориентироваться в географическом пространстве в соответствии с координатами внешнего файла, внутренняя привязка будет игнорироваться.

Файл привязки содержит полное описание отношений пиксельных координат географическим и включает следующие параметры:

- A – масштаб растра по оси X; размер пикселя по оси X (например, в 1 единицы растра – 20 метров);
- B – масштаб растра по оси Y; отрицательный размер пикселя по оси Y;
- C, D – параметры поворота (обычно равны нулю);
- E, F – параметры положения; X, Y координаты центра верхнего левого пикселя.

Отрицательное значение размера пикселя по оси Y обуславливается разницей между началами координат изображения и географической системы координат. В изображении (растре листа карты) начало находится в левом верхнем углу, в географической системе координат листа карты – в левом нижнем.

Имя файла привязки должно совпадать с названием растрового файла, для которого создается файл привязки. Расширение состоит из трех букв: первая соответствует первой букве расширения соответствующего растрового файла, вторая – третьей букве расширения, третья – буква w (world).

Результатом использования файла привязки является соответствие снятых прямоугольных координат положения точечного объекта БТТ на карте (рис. 2) с координатами положения маркера в правом верхнем углу карты.

Если рассматривать различные типы объектов и непосредственно танк в виде точки, то его пространственными характеристиками будут являться координата X и координата Y, для объекта в виде линии (колонна танков) - ее пространственными характеристиками будет длина, а для танков в районе обороны, его пространственными характеристиками будет длина (периметр), площадь, центр (центроид).

Пространственные характеристики объектов, о которых идет речь, являются неотъемлемой частью их геометрии. В ArcView GIS получить геометрию объекта можно через специальное поле в таблице Shape.

При проведении расчетов пространственных характеристик важно помнить, что единицы измерения, по умолчанию, будут отвечать исходным единицам измерения имеющихся данных.

Если данные находятся в географической системе координат, то независимо от того, спроектированный вид или нет, получаемые значения, по умолчанию, будут вычислены в десятичных градусах (рис. 3).



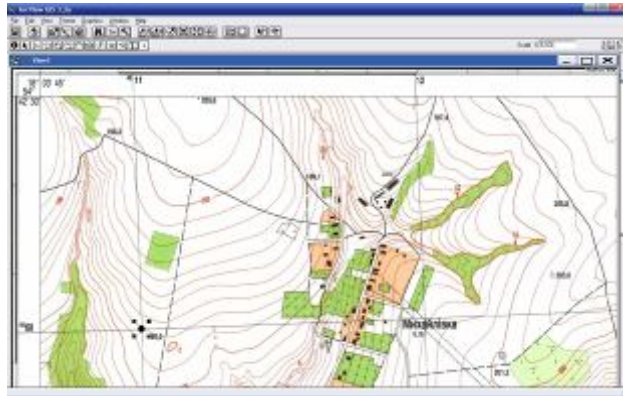


Рисунок 2 – Результат использования файла привязки для снятия прямоугольных координат положения точечного объекта на карте

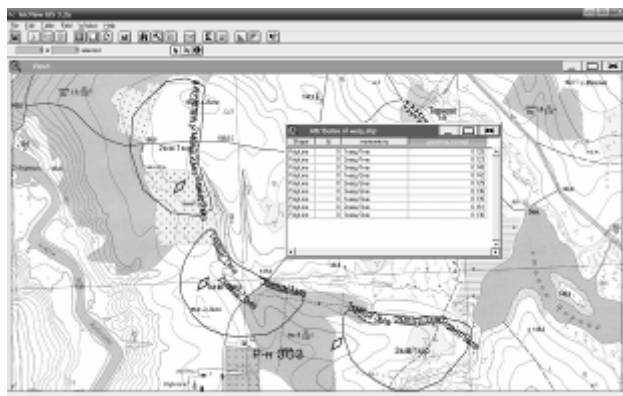


Рисунок 3 – Длина позиции танков вида *View1*

Современные ГИС военного назначения представляют новый тип интегрированных информационных систем, которые позволяют эффективно решать задачи сбора, накопления, обработки и визуализации геопространственной информации для анализа, моделирования действий войск от отдельного объекта БТТ до группировки БТТ в целом.

Таким образом, функционирование БИУС предполагает наличие прямой и обратной связи, причем как по вертикали, так и по горизонтали, что может быть осуществлено на основе интерфейса со специальным программным обеспечением и структурной схемой, представленной на рис. 4 [4].

Следует особо подчеркнуть важность оценки необходимой точности датчиков, поскольку это, с одной стороны, определяет достоверность информации, а с другой стороны, стоимость системы. В этой связи весьма привлекательным представляется применение простых индикаторов, где это возможно.

В целом создание точной системы предполагает не только рациональное использование вооружения, но и изменение подхода к защищенности. Кроме этого, не последняя роль в такой системе должна отводиться автоматическим и роботизированным комплексам. При этом главное преимущество геоинформационных систем перед другими информационными технологиями заключается в наборе средств создания и объединения баз данных с возможностями их графического анализа и наглядной визуализации в виде карт, графиков, диаграмм, прямой привязки всех атрибутивных и графических данных для обнаружения БТТ противника.

Поэтому особо актуальной на современном этапе представляется проблема разработки боевой информационно-управляющей системы подразделений тактического звена, как базового элемента с применением дополнительной оптико-акустической системы разведки наземных целей (ДОАСР) и может быть составлена система более высокого уровня (рис. 5).

В заключение необходимо отметить, что задача интеграции всех компонентов этой системы, в том числе и БТТ, в такую систему с единым информационным пространством приводит к тому, что объект БТТ, как система, управляемая человеком, еще больше усложняется ввиду того, что между оператором и БМ появляется еще одна информационно-управляющая система, причем пронизывающая все уровни от тактического до оперативно-стратегического [2]. В этом смысле объект БТТ представляется как интегрируемый элемент такой системы, для осуществления которой все элементы должны быть увязаны инфор-

мационно, а также для осуществления интеграции необходимо разработать требования к акустическому и оптическому каналам ДОАСР [8].

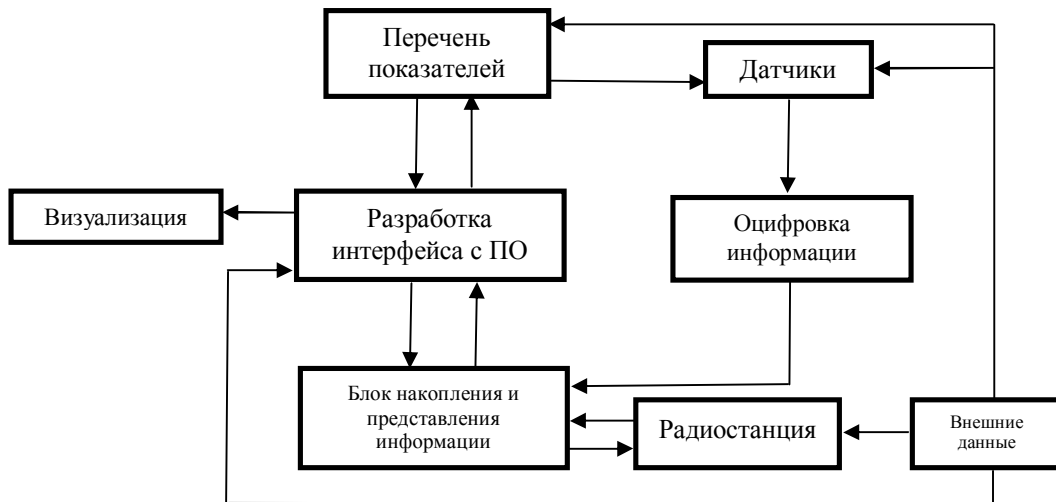


Рисунок 4 – Структурная схема БИУС

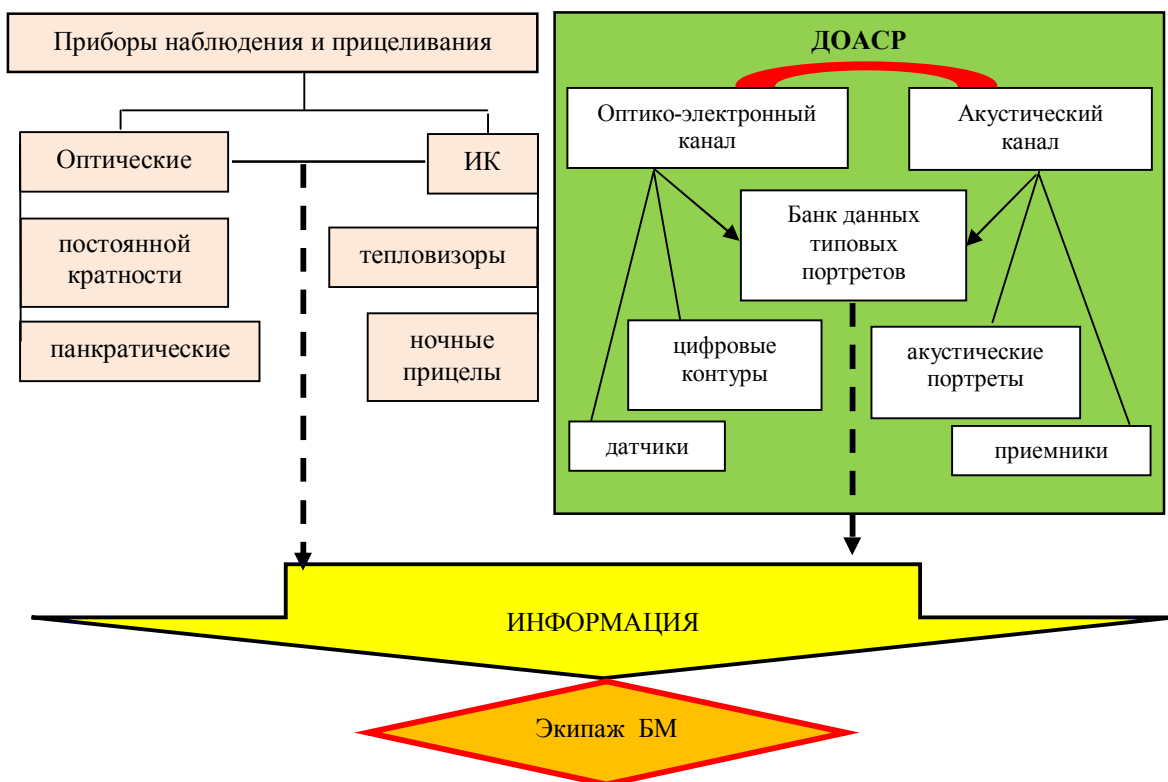


Рисунок 5 – Интеграция ДОАСР в СУО танка

Литература

1. Антонов А.С., Мигидович Е.И., Артамонов Б.А. под редакцией Коробкова Б.М. Танк. – Москва, Военное издательство.– 1947.– 387 с.
2. Анипко О.Б., Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М. Концептуальное проектирование бронетанковой техники. Харьков, НТУ «ХПИ».– 2008.– 196 с.

3. Глущенко А.Р., Гордиенко В.И., Бурак А.В., Денисенко А.Ю. Танковые ночные системы и приборы наблюдения. Черкассы, Чабоненко Ю.А.– 2007.– 442 с.
4. Анипко О.Б., Сиренко С.Н. Основные функции и структура информационно-управляющей системы тактического звена. // Интегровані технології та енергозбереження. Х.: НТУ „ХПИ”.– 2014.– № 3.– С. 9–11.
5. Анипко О.Б., Бирюков И.Ю., Бусяк Ю.М. Комплексная проблема поиска и обнаружения наземных целей для поражения вооружением, установленным на объектах бронетехники. // Сбірник наукових праць. Х.: Акад. ВВ МВС України. 2011.– № 2(18). С. 43–47.
6. Бирюков И.Ю. Расчет средних ошибок, определяемых дополнительной акустической системой разведки наземных целей. // Интегровані технології та енергозбереження. Х.: НТУ „ХПИ”.– 2014.– № 3.– С. 12–18.
7. Бірюков І.Ю. Геоінформаційне забезпечення службово-бойової діяльності підрозділів внутрішніх військ, частина I. Подання та аналіз просторових даних [Текст]: навч. посіб./ В.І. Вороб'єв, В.В. Обрядін.– Х.: Акад. ВВ МВС України, 2010.– 160 с.
8. Анипко О.Б., Бирюков И.Ю. Комплексный метод обнаружения и распознавания наземных целей на основе анализа цифровых изображений и регистрации акустических возмущений. // Интегровані технології та енергозбереження. Х.: НТУ „ХПИ”.– 2014.– №4.– С. 51–57.

Bibliography (transliterated)

1. Antonov A.S., Migidovich E.I., Artamonov B.A. pod redaktsiye Korobkova B.M. Tank. – Moskva, Voennoe izdatelstvo.– 1947.– 387 p.
2. Anipko O.B., Borisyuk M.D., Busyak Yu.M. Kontseptualnoe proektirovanie bronetankovoy tehniki. Harkov, NTU «HPI».– 2008.– 196 p.
3. Gluschenko A.R., Gordienko V.I., Burak A.V., Denisenko A.Yu. Tankovyye nochnyye sistemy i pribory nablyudeniya. Cherkassy, Chabonenko Yu.A.– 2007.– 442 p.
4. Anipko O.B., Sirenko S.N. Osnovnyie funktsii i struktura informatsionno-upravlyayushey sistemy takticheskogo zvena. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. H.: NTU „HPI”.– 2014.– # 3.– P. 9–11.
5. Anipko O.B., Biryukov I.Yu., Busyak Yu.M. Kompleksnaya problema poiska i obnaruzheniya nazemnyih tseley dlya porazheniya vooruzheniem, ustanovlennym na ob'ektah bronetehniki. Sbornik naukovih prats. H.: Akad. VV MVS Ukrayini. 2011.– # 2(18). P. 43–47.
6. Biryukov I.Yu. Raschet srednih oshibok, opredelyaemyh dopolnitelnoy akusticheskoy sistemoy razvedki nazemnyih tseley. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. H.: NTU „HPI”.– 2014.– # 3.– P. 12–18.
7. Biryukov I.Yu. Geoinformatsiyne zabezpechennya sluzhbovo-boyovoyi diyalnosti pidrozdiliv vnutrishnih viysk, chastina I. Podannya ta analiz prostorovih danih [Tekst]: navch. posib./ V.I. Vorobev, V.V. Obryadin.– H.: Akad. VV MVS Ukrayini, 2010.– 160 p.
8. Anipko O.B., Biryukov I.Yu. Kompleksnyiy metod obnaruzheniya i raspoznaniya nazemnyih tseley na osnove analiza tsifrovyyih izobrazheniy i registratsii akusticheskikh vozmuscheniy. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. H.: NTU „HPI”.– 2014.– #4.– P. 51–57.

УДК 355.40; 534.79; 623.44; 629.1.03

Бірюков І.Ю., Сіренко С.М.

**ІНТЕГРАЦІЯ ДОДАТКОВОЇ ОПТИКО-АКУСТИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗВІДКИ  
В СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ВОГНЕМ ТАНКА**

На основі аналізу існуючих автоматизованих систем управління для БТТ в роботі розглядається інтеграція додаткової оптико-акустичної системи розвідки в систему управління вогнем танка

Birukov I.Yu., Sirenko S.N.

**INTEGRATION OF ADDITIONAL OPTICAL-ACOUSTIC SYSTEMS INTELLIGENCE  
IN THE TANK FIRE CONTROL SYSTEM**

Based on the analysis of existing automated control systems for BBT to work the integration of additional opto-acoustic intelligence system in fire control tank.