

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Анишко О. Б., Редин Н. Н., Щепцов О. В.

Экспериментальное исследование аккумуляторных батарей электрических торпед, находящихся на послегарантийных этапах эксплуатации 3

Сахненко М. Д., Ведь М. В., Каракуркчі Г. В., Єрмоленко І. Ю., Зюбанова С. І.

Ресурсозаощаджувальна технологія відновлення зношених деталей 9

Демирский А. В., Товажнянский Л. Л., Арсеньева О. П., Хавин Г. Л., Капустенко П. А.

Анализ работы системы подогревателей сахарного сока с учетом загрязнений теплообменной поверхности 14

Кузнецова М. М., Ведь В. Є.

Вплив способу подрібнення на енерговитрати процесу 18

Товажнянский Л. Л., Бабак Т. Г., Дуич Н., Крайчич Г., Хавин Г. Л.

Возможность использования системы отопления в качестве источника тепла теплового насоса для системы ГВС в межотопительный период 23

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Капустенко П. А., Илюнин О. О., Болдырев С. А., Гарев А. О., Леценко Е. В., Перевертайленко А. Ю., Селяков А. М., Шамраев А. А.

Критерий эффективности тепловых насосов с учетом группового влияния аргументов 30

Ульев Л. М., Сивак В. В.

Пинч-интеграция тепловых насосов в процесс очистки тетрахлорида титана 35

Александрова Т. Е., Лазаренко А. А.

Параметрический синтез инвариантного стабилизатора танковой пушки 44

Капустенко П. А., Илюнин О. О., Перевертайленко А. Ю., Селяков А. М., Шамраев А. А.

Математическая модель распределенной бивалентной системы теплоснабжения 47

Кузьяев И. М., Сытар В. И., Лободенко А. В.

Моделирование тепловых процессов в кольцевых цилиндрических элементах 52

Кирилай Е. И.

Численное исследование потокораспределения в укрытии газотурбинной установки, вентилируемом одним и двумя вентиляторами 57

Ведь В. В.

Гидродинамика структуры потока жидкости в циркуляционном аппарате со струйно-инжекционным газонаполнением 61

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Анишко О. Б., Бусяк Ю. М., Миргород Ю. И.</i> Комплексный метод формирования PDM протокола объекта для предэскизной стадии проектирования	64
<i>Анишко О. Б., Больших А. А.</i> Проблемные задачи исследования геронтологического изменения порохового заряда реактивного двигателя твердого топлива снарядов реактивных бомбометных установок и экспериментальные данные для их решения	70
<i>Анишко О. Б. Вертелецкий В. Ф.</i> Изменение физико-химических свойств порохового заряда и начальной скорости артиллерийских боеприпасов морской номенклатуры калибров 25/80 и 30/54	74
<i>Бирюков А. И.</i> Особенности эксплуатации пистолетов со свободной отдачей затвора при использовании боеприпасов послегарантийных сроков хранения	80
<i>Товажнянский Л. Л., Капустенко П. О., Ульянов Л. М., Васильев М. А.</i> Екстракція даних смолопереробного цеху та двох бензольних відділень зі спільним сировинним потоком	85
<i>Васильев И. В., Капустенко П. А., Перевертайленко А. Ю., Илюнин О. О., Бухкало С. И., Арсеньева О. П.</i> Проблемы и перспективы некоторых современных технологий термической конверсии твердых бытовых отходов	91
<i>Ульяев Л. М., Нечипоренко Д. Д.</i> Пинч-реконструкция секций гидроочистки и каталитического риформинга на установке Л-35-11/600	95
<i>Бирюков И. Ю.</i> Маскировочная окраска наземных объектов и методы их распознавания	101
<i>Соколов М. В., Ульянов Л. М., Сулима А. Н.</i> Исследование гидродинамики ситчато-клапанных тарелок для колон очистки четыреххлористого титана	110
<i>Ульяев Л. М., Яценко О. А.</i> Экстракция данных для пинч-анализа производства карбамида на агрегате АК-70	114
<i>Анишко О. Б., Муленко А. О., Баулин Д. С.</i> Экспериментальное исследование износа ствола 5,45 мм автомата Калашникова АК-74 при стрельбе боеприпасами длительных сроков хранения	121
<i>Краснокутский Е. В., Ведь В. Е., Пономаренко А. В., Коций В. А.</i> Стенд для изучения кинетических и газодинамических параметров каталитических процессов очистки газов	126
<i>Рассоха А. Н., Черкашина А. Н., Абаляев В. И.</i> Наноразмерные явления в межфазном слое модифицированных фурано-эпоксидных композитов	132

<i>Хименко А. В., Тарасова В. А.</i> Исследование режимов работы электрического теплового аккумулятора	136
<i>Редько А. А., Компан А. И., Редько А. Ф.</i> Термодинамическая эффективность каскадной утилизационной энергетической установки	140
<i>Бандура В. М., Коляновська Л. М.</i> Інтенсифікація масоперенесення в екстрагуванні рослинних олій	144

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

<i>Анипко О. Б., Хайков В. Л.</i> Система мониторинга артиллерийских боеприпасов и анализ ее возможных структур по степени рациональности	148
<i>Ковалив В. И., Малахов В. А.</i> Позиции Китая на рынке бронетехники развивающихся стран	160

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОРПЕД, НАХОДЯЩИХСЯ НА ПОСЛЕГАРАНТИЙНЫХ ЭТАПАХ
ЭКСПЛУАТАЦИИ**

В настоящее время торпеда СЭТ-65 является основной противолодочной торпедой ВМС Украины. Находящиеся на базах и складах образцы этих торпед произведены в 80-х годах XX века и находятся на послегарантийной стадии эксплуатационного цикла, причем срок хранения изделий превышает срок их службы.

Источником питания торпеды СЭТ-65 является аккумуляторная батарея (АБ) одноразового действия ампульного типа СЦА-240 (изд. А-187М). АБ данного типа отличается большой удельной энергией, хорошими эксплуатационными характеристиками в условиях низких температур, незначительным саморазрядом, высокой устойчивостью к ударно-вибрационным воздействиям, относительным постоянством напряжения в режиме разряда, нечувствительностью к большим разрядным токам. Кроме того, АБ одноразового действия не требуют вентиляции и подзарядки в течение всего времени содержания торпеды на корабле-носителе [2, 4]. Однако, несмотря на хорошие технические характеристики АБ, в процессе длительного хранения она претерпевает геронтологические изменения, которые могут привести к неудовлетворительному ее функционированию, а, следовательно, всего торпедного комплекса в целом.

Документом [1] срок службы АБ определяется десятью годами хранения, в течение которого производятся: средний ремонт (через 5 лет) и контрольные проверки (через каждые 2,5 лет). То есть, в течение срока службы изделия предусмотрены профилактические мероприятия, направленные на поддержание значений основных энергетических показателей торпеды близких к номинальным. При увеличении срока хранения АБ торпеды, эксплуатационной документацией не оговорен ни перечень мероприятий, ни их суть.

Нынешнее положение заключается в том, что большинство образцов АБ торпед находятся на сроках хранения превышающих 20 лет и изменение их параметров, а так же процессы, протекающие в них, мало изучены. В этих условиях вынужденной эксплуатации данных изделий на послегарантийных этапах эксплуатации необходимо провести мониторинг их состояния (прогнозировать изменение основных электротехнических характеристик, уменьшать с помощью организационно-технических мероприятий вероятность проявления ненормального действия, проводить своевременно утилизацию и т.д.) [7].

С целью получения данных влияния технической геронтологии на АБ торпед, была поставлена задача по выявлению закономерностей изменения электротехнических характеристик АБ торпед от сроков хранения.

Теоретические исследования показали, что изменения, происходящие с АБ, в процессе длительного хранения, негативно влияют на их электротехнические показатели, такие как емкость, напряжение, внутреннее сопротивление.

Получены зависимости изменения времени разряда АБ от изменения емкости и влияние его на дальность хода торпеды, а так же влияние изменения напряжения на мощность электродвигателя, которая, в свою очередь, влияет на изменение скорости торпеды [7].

На основе этих данных, разработана модель жизненного цикла (рис. 1), которая позволяет прогнозировать изменения основных энергетических показателей АБ торпед от сроков их хранения, а так же прогнозировать влияние этих изменений на основные тактические параметры торпеды – скорость и дальность хода. Это в свою очередь позволяет вводить поправки в исходные параметры торпедной стрельбы при боевом применении с учетом геронтологических изменений.

Модель включает в себя три этапа:

первый – соответствует стадии, когда емкость АБ, как основная ее характеристика, остается практически неизменной. На этой стадии процессы старения, происходящие внутри АБ, незначительны и скорость их протекания мала. Это не оказывает существенного влияния на электротехнические свойства батареи.

Второй этап – емкость АБ резко снижается. Допустимое минимальное значение емкости может быть определено на основе минимально допустимой скорости и дальности хода торпеды.

На третьем этапе – значения емкости не смогут обеспечить необходимую скорость и дальность хода торпеды, а, следовательно, использование АБ не целесообразно [7].

Для подтверждения достоверности результатов полученных в ходе теоретических исследований, на предприятии ОАО НПФ «Луганский аккумулятор – 1» проводились испытания трех батарей СЦА-240 (изд. А-187М) с заводскими номерами: №№ 81183П78, 81183П79, 8118380 [5].

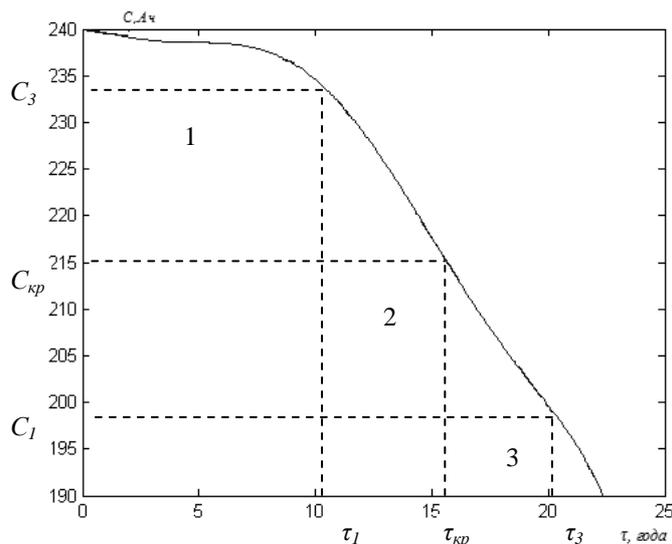


Рисунок 1 – Модель жизненного цикла аккумуляторной батареи торпеды

Для проведения работ с ними составлена программа испытаний изд. А-187М.

В соответствии с программой:

1. Батареи извлекались из транспортировочных контейнеров и устанавливались на вкатники.

Транспортировочные контейнеры на наружной поверхности имеют следы коррозии, состояние внутренней поверхности соответствует требованиям конструкторской документации (КД) и технической документации (ТД).

Формуляры и упаковочные листы в наличии.

Дата изготовления батарей – 24 ноября 1983 г.

По записи в формуляре батареям произведено техническое обслуживание (ТО) 17.11.94г., замечаний нет.

ЗИП и электролит отсутствуют.

2. Производился осмотр и контроль-

ные замеры батареи № 81183П78 в соответствии с ТУ 16-729.242-80/с (ИЛЕВ 563 230.009 ТУ):

- батарея по внешнему виду соответствует чертежу ИЛЕВ.563 235.004;
- все комплектующие, детали и сборочные единицы по внешнему виду соответствуют требованиям НТД, кроме межэлементных соединений: серебряное покрытие на некоторых шинах (особенно на секции №1) частично пожелтело.

- контровка верхних гаек не нарушена, затяжка их соответствует ТП;
- отсутствуют пломбы на заглушках вилки 2РГМД24Б10Ш5Е2 и воздушного штуцера изд. 190М;
- изделие 190М (заводской № 4830808035) изготовлено 31.08.83г., по внешнему виду соответствует требованиям ТУ ИЛЕВ 563 233.002ТУ;

- электрическое сопротивление изоляции батареи, измеренное в соответствии с табл. 6 ТУ, цепь подрыва электрозапалов и состояние жгутов цепей 27 и 80 В соответствует требованиям ТУ;
- электрическое сопротивление между выводами элементов соответствует требованиям ТУ.

3. Производился демонтаж батареи, снимались жгуты, шины, блок-контактор, изделие 190 М, соединительные планки. Батареи - составные части, устанавливались на сборочные приспособления.

4. Производился демонтаж батарей - составных частей:

- панели по внешнему виду соответствуют требованиям КД и ТД;
- ампулы и элементы не имеют повреждений, контровка нижних гаек не нарушена, но затяжка их ослаблена;

- фторопластовые чехлы целые, по внешнему виду соответствуют требованиям КД и ТД;

- изоляционное покрытие на элементах и ампулах не нарушено;

- элементы с ампулами (148 шт.) проверялись на герметичность: по узлу сочленения ампулы с элементом - герметичность не нарушена. По узлу уплотнения борна у трех элементов герметичность нарушена у одного из 4-х борнов. Диафрагмы во всех ампулах целые.

5. Вскрывались два элемента:

№ 80647 – герметичный

№ 81086 – нарушена герметичность уплотнения одного борна.

Диафрагмы по внешнему виду соответствуют требованиям КД. Газовые клапаны (старой конструкции, без полиамидной гильзы), не соответствуют требованиям чертежа (вытекание смазки).

Производился демонтаж уплотнения борнов элементов: нижние гайки ослаблены на всех борнах, уплотнительное резиновое кольцо деформировано (сплющено), за счет чего ухудшилось уплотнение.

Элементы вскрывались, блоки электродов извлекались. Состояние блоков электродов, полиамидных втулок и резиновых прокладок по внешнему виду соответствует требованиям КД и ТД.

6. Блоки электродов методом высверливания заклепок и распайки токосборников разъединялись на положительные и отрицательные электроды:

- обертка (капроновая ткань и щелочестойкая бумага), сепаратор на отрицательных электродах (двухслойный капроновый чехол) по внешнему виду соответствуют требованиям ТП;

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

- отрицательные электроды серебристо-серого цвета, без пятен и разрушений, по внешнему виду соответствуют требованиям ТП;
- положительные электроды слегка покороблены, серого цвета, часть электродов покрыта бурыми пятнами, не имеют разрушений и выкрашиваний активной массы, соответствуют требованиям ТП. Основа электродов изготовлена из полосы серебряной Ср 999 М.
- положительные и отрицательные электроды испытывались на определение емкости и электрохимической активности. В отрицательных электродах определено содержание ртути. Результаты приведены в таблицах №№ 1, 2.

Таблица 1 – Результаты испытаний положительных электродов

№ элемента	Положительные электроды				Примечания
	№ п/п	Вес, г	Время разряда, мин.	Внешний вид	
81086 (негерметичный)	1	23,41	49'	Серого цвета	По ТП: 1. Время разряда положительных электродов должно быть не менее 45'
	2	23,41	47' 35''	-----	
	3	23,26	48' 30''	-----	
	4	23,97	49' 30''	Серого цвета с бурыми пятнами	
	5	23,70	48' 50''	-----	
	6	23,56	48'	-----	
	7	23,69	48' 50''	Серого цвета	
	8	23,15	46' 30''	-----	
	9	23,56	47' 10''	-----	
80647 (герметичный)	1	23,96	48'	Серого цвета	
	2	23,64	46' 45''	-----	
	3	23,75	49' 35''	-----	
	4	23,50	47' 45''	Серого цвета с бурыми пятнами	
	5	23,17	46'	-----	
	6	23,32	46'	-----	
	7	23,40	46' 40''	Серого цвета	
	8	23,20	45' 45''	-----	
	9	23,44	46' 15''	-----	

Таблица 2 – Результаты испытаний отрицательных электродов

№ элемента	Отрицательные электроды				Содержание ртути, %
	№ п/п	Вес, г	Время разряда, мин.	Среднее разрядное напряжение, В	
81086 (негерметичный)	1	16,6	19' 24''	1,37	0,87
	2	16,7			
	3	16,5	21' 40''	1,40	0,66
	4	16,6			
	5	16,6	22' 42''	1,40	0,74
	6	16,7			
80647 (герметичный)	1	16,7	22' 20''		0,62
	2	16,6			
	3	16,8	23' 12''	1,40	0,62
	4	16,6			
	5	16,8	20' 05''	1,36	0,68
	6	16,8			
Требования по ТП			Не менее 17'	Не менее 1,35В	1–2,5 %

Из полученных данных следует, что положительные и отрицательные электроды по электрическим характеристикам соответствуют требованиям ТП и практически не снизили их в результате длительного хранения (17 лет). Изменилось (уменьшилось) только содержание ртути в отрицательных электродах.

Согласно исследованиям, проведенным в НИАИ, установлено, что стабильность электрических характеристик пористого цинкового электрода (каким является отрицательный электрод изд.; А-187М) в процессе хранения в сухом виде обеспечивается введением в активную массу 0,5–1 % ртути.

Фазовый состав и электрические характеристики амальгамированного пористого цинкового электрода с содержанием ртути (0,5 %) в процессе длительного хранения в сухом виде изменяется незначительно [3].

7. В соответствии с программой отобраны 4 элемента для проведения испытаний при температурах 323 К (+50 °С) и 278 К (+5 °С). Перед испытаниями в них заменены газовые клапаны и подтянуты нижние гайки.

Результаты испытаний соответствуют требованиям.

8. Проведены также испытания блок-контакторов и изделий 190М. Для проведения этих испытаний собраны и распаяны на панели три варианта электрических цепей подрыва электрозапалов;

I вариант: ампулы (без элементов) 1983 г. и 1995 г. изготовления, блок-контактор и изделие 190М, снятые с батареи П-78 1983 г. изготовления.

II вариант: ампулы 1983 г. и 1995 г. изготовления, блок-контактор 1995 г. изготовления и изд. 190М 1991 г. изготовления.

III вариант: ампулы 1983, 1995 и 2001 г. изготовления, блок-контактор 1995 г. изготовления, изд. 190М 1983 г. изготовления, снятое с батареи П-79.

Получены следующие результаты:

В цепи I варианта не подорвались электрозапалы одной линии (38 ампул). При исследовании установлено, что в результате длительного хранения произошло снижение сопротивления изоляции между выводами второй линии и корпусом блок-контактора. Это привело к занижению напряжения в электро-схеме линии цепи электрозапалов и отказу их срабатывания.

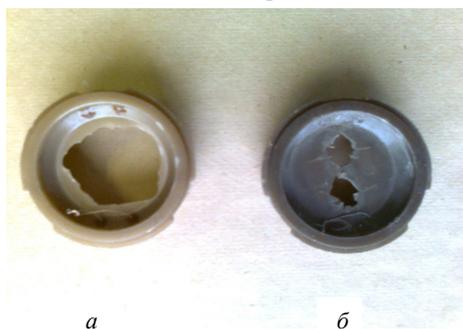


Рисунок 2 – Сравнительное фото результатов подрыва мембраны:
а – штатный, б – фактический

В связи с тем, что в АБ применяется последовательное соединение элементов, отсутствие подрыва электрозапалов линии, приведет к несрабатыванию всех элементов батареи и, как следствие, несрабатыванию всего торпедного комплекса в целом.

В двух других вариантах подрыв прошел штатно, без замечаний.

Отмечено следующее:

– во всех трех опытах диафрагмы 1983 г. имели самый низкий процент открытия - отверстия только вокруг запалов (типа «очки»), диафрагмы 1995 и 2001 г.г. открылись хорошо – на 75–100 %.

Данное явление приведет к несвоевременной подаче электролита из ампулы в элементы, несвоевременному и неполному смачиванию поверхности электродов, и задержке полной реакции активных масс. Это в свою очередь вос-

препятствует своевременной подаче напряжения силовой батареей на электродвигатель (3–5 секунд после откидывания курка и активации пусковой батареей). Торпеда начнет тонуть и попадет в так называемый «мешок», когда скорости торпеды и угла поворота рулей будет недостаточно для того, чтобы своевременно выйти на заданную траекторию. Это условие особенно важно при ведении боевых действий в прибрежных районах и мелководье, что с учетом принятия развитыми странами литоральной концепции морской деятельности ВМС, становится одной из приоритетных задач исследования.

Однако этот вопрос малоизучен и требует дополнительных исследований.

Все изделия 190 М сработали нормально: время с момента подачи воздуха до срабатывания электрозапалов составило не более одной секунды.

На основании проведенных работ и полученных положительных результатов испытаний электродов и элементов, извлеченных из батареи 81183П78, принято техническое решение, что элементы могут быть использованы для сборки батарей А-187М с новыми деталями и узлами.

С батареями 81183П78, 79, 80 произведены следующие работы:

- все батареи демонтированы до элементов;
- произведен перемонтаж узла уплотнения борнов с заменой резинового кольца 294-20 (из резины 1991 г. изготовления);

– произведен монтаж ампул (ампулы 1995 г. изготовления, диафрагмы 2001 г. изготовления, кольцо 686 из резины 1991 г. изготовления);

– произведена доработка газовых клапанов в соответствии с требованиями чертежа ЖЦИШ 306411.003 СБ. Давление срабатывания клапанов 1,1–1,2 кгс/см², что соответствует требованиям ТД;

– заменены фторопластовые чехлы (1991 г. изготовления);

– заменены кислородные клапаны. Воздухопроницаемость 300–600 см³/мин, что соответствует требованиям ТД.

Собраны две батареи А-187 М, в состав которых вошли:

– жгуты (1995 г. изготовления), панели (2001 г. изготовления);

– блок-контакты 1995 г. изготовления, перепроверенные в соответствии с инструкцией 25103.00345.

– изделия 190 М, 1991 г. изготовления, перепроверенные в соответствии с Программой от 13.12.1999 г.

Элементы батарей прошли проверку и приемку ОТК и ПЗ на соответствие требованиям ИЛЕВ 563 230.009 ТУ:

от каждого комплекта вновь скомплектованных батарей испытаны по 6 элементов при температурах: 323 К (+50°C), 278 К (+5С), 271 К (- 2°C) Результаты испытаний соответствуют требованиям ТУ: по времени разряда на 11,5 - 15%, а по среднему разрядному напряжению на 1,8–2,96 % выше требований ТУ и не ниже результатов испытаний свежизготовленных батарей.

Две секции (24 и 28 элементов) прошли транспортные испытания, после чего секция из 24 элементов разряжена при температуре 323 К (+50 °С). Результаты испытаний соответствуют требованиям ТУ.

В соответствии с Дополнением к Программе испытаний проведены испытания двух секций, состоящих из 24 элементов.

В первую секцию вошли 14 элементов, изготовленных в 1999 году и 10 элементов 1983 г. изготовления, демонтированных из батареи 81183П78.

Вторая секция собрана из 24 элементов, изготовленных в 1983 году, демонтированных из батареи 81183П78.

На всех элементах установлены ампулы с диафрагмами 2001г. изготовления, кислородные и газовые клапаны замены, произведен ремонт узлов уплотнения борнов.

Обе секции испытаны при температуре 323 К (+50 °С).

Разряд секций прошел нормально, без замечаний, результаты испытаний соответствуют требованиям ТУ, запас по времени разряда 35–36 секунд, среднее разрядное напряжение выше требований ТУ на 0,04 В,

Испытание двух секций, проведенное согласно Дополнения к Программе испытаний, дополнительно подтвердило результаты испытаний, проведенных согласно программе испытаний двух батарей А-187 М после их доработки[5].

Результаты экспериментальных исследований АБ торпед, подтверждают результаты теоретических исследований [7]. Срок хранения АБ, равный 17 годам, соответствует точке $\tau_{кр}$ (рис. 1), в этой точке допустимое минимальное значение емкости определено на основе минимально допустимой скорости и дальности хода торпеды.

При дальнейшем хранении АБ, геронтологические изменения приведут к неудовлетворительной работе АБ и всего торпедного комплекса в целом. Что соответствует третьему этапу модели жизненного цикла (рис. 1), на котором использование АБ будет не целесообразно.

Исходя из результатов проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1 Батареи после длительного хранения не могут быть использованы по прямому назначению в связи с потерей качества и надежности комплектующих деталей и узлов,

2. Элементы, снятые с батарей 81183П78, 81183П79, 81183П80, после доработки показали положительные результаты.

3. Восстановление батарей А-187М после длительного хранения возможно только после проверки элементов на соответствие требованиям КД и ТД и замены комплектующих деталей и сборочных единиц:

– ампул в сборе;

– резиновых уплотняющих деталей;

– жгутов;

– панелей;

– клапанов (газовых и кислородных);

– фторопластовых чехлов;

– блок–контакторов;

- изделия 190М,
а также ремонта транспортировочных контейнеров.
- 4. Восстановленные батареи должны пройти испытания в полном объеме на соответствие требованиям ТУ с обязательным проведением транспортных испытаний секций, залитых электролитом. При этом все испытания должны проводиться не менее чем на удвоенном объеме выборки элементов и секций.
- 5. После доработки батареи могут быть использованы для проведения эксплуатационных испытаний.
- 6. Окончательное решение о возможности применения батареи возможно только по результатам эксплуатационных испытаний.

Литература

1. Руководство по хранению и ремонту противолодочного, торпедного, минного, противоминного и противоподводно-диверсионного оружия и вооружения. – М.: Военное издательство МО СССР, 1986. – 279 с.
2. Голубков В.А., Гвоздев Н.Г., Закаржевский К.А. Описание торпеды СЭТ-65, книга 1, торпедно-силовая часть и приборы управления – М.: Военное издательство МО СССР, 1967. – 279 с.
3. Сборник работ по ХИТ, НИАИ, № 2, 1967, 92 с.
4. Кольшкн М.М. Противолодочное торпедное оружие – Л.: ВВМКУ им. М.В. Фрунзе, 1985. – 458 с.
5. Отчет исследования батарей А-187М, после длительного хранения и определение возможности их использования. – ОАО НПФ «Луганский аккумулятор», 2001. – 7 с.
6. Савченко Г.Б. Двигатели двусредных аппаратов // Самиздат. – <http://samizdat.net/mchat>
7. Анипко О.Б., Хайков В.Л., Щепцов О.В. Прогнозирование изменения энергетических показателей аккумуляторных батарей электрических торпед в зависимости от сроков их хранения. – Збірник наукових праць АВМС імені П.С. Нахімова, № 2(14), 2013.
8. Акт технического состояния батарей А-187М, поступивших для капитального ремонта в соответствии с договором № 35/20-61 от 10.12.2004 г.// ООО «Луганский аккумулятор», 2004. – 2 с.

Bibliography (transliterated)

1. Rukovodstvo po hraneniju i remontu protivolodochnogo, torpednogo, minnogo, protivominnogo i protivopodvodno-diversionnogo oruzhija i vooruzhenija. – M.: Voennoe izdatel'stvo MO SSSR, 1986. – 279 p.
2. Golubkov V.A., Gvozdev N.G., Zakarzheskij K.A. Opisanie torpedy SJeT-65, kniga 1, torpedno-silovaja chast' i pribory upravlenija – M.: Voennoe izdatel'stvo MO SSSR, 1967. – 279 p.
3. Sbornik rabot po HIT, NIAI, # 2, 1967, 92 p.
4. Kolyshkin M.M. Protivolodochnoe torpednoe oruzhie – L.: VVMKU im. M.V. Frunze, 1985. – 458 p.
5. Otchet issledovanija batarej A-187M, posle dlitel'nogo hranenija i opredelenie vozmozhnosti ih ispol'zovanija. – OAO NPF «Luganskij akumuljator», 2001. – 7 p.
6. Savchenko G.B. Dvigateli dvusrednyh apparatov Samizdat. – <http://samizdat.net/mchat>
7. Anipko O.B., Hajkov V.L., Shhepcov O.V. Prognozirovanie izmenenija jenergeticheskikh pokazatelej akumuljatornyh batarej jelektricheskij torped v zavisimosti ot srokov ih hranenija. – Zbimik naukovih prac' AVMS imeni P.S. Nahimova, # 2(14), 2013.
8. Akt tehničeskogo sostojanija batarej A-187M, postupivshih dlja kapital'nogo remonta v sootvetstvii s dogovorom # 35/20-61 ot 10.12.2004 g. OOO «Luganskij akumuljator», 2004. – 2 p.

УДК 623:946

Аніпко О.Б., Рєдін Н.Н., Щєпцов О.В.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТОРПЕД, ЯКІ ЗНАХОДЯТЬСЯ НА ПІСЛЯГАРАНТІЙНИХ ЕТАПАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

На підставі проведених експериментальних досліджень акумуляторних батарей торпед, що знаходяться на післягарантійних етапах експлуатації, показані зміни, що відбуваються з елементами і складовими частинами акумуляторної батареї.

Аніпко О.В., Рєдін Н.Н., Щєпцов О.В.

**EXPERIMENTAL RESEARCH STORAGE BATTERIES OF ELECTRIC TORPEDOES, BEING ON
AFTER GUARANTEE STAGES OF EXPLOITATION**

On the basis of the conducted experimental researches of storage batteries of torpedoes being on the after guarantee stages of exploitation, the changes what is going on with elements and component parts of storage battery are shown.

УДК 621.35

Сахненко М.Д., Вєдь М.В., Каракуркчі Г.В., Єрмоленко І.Ю., Зюбанова С.І.

РЕСУРСОЗАОЩАДЖУВАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ**Постановка проблеми.**

Ефективне функціонування багатьох галузей народного господарства України не можливе без існування сучасної ремонтної бази, яка повинна забезпечувати високу надійність обладнання, мінімальний термін технічного обслуговування при високій якості виконаних робіт і т.і., що передбачає удосконалення існуючих та розвиток новітніх засобів відновлення та поверхневого зміцнення деталей машин і механізмів. В поточний час широке застосування набули технології ремонту шляхом гальванохімічного відновлення зношених поверхонь за рахунок нанесення покриттів твердим хромом, залізом, нікелем, міддю, цинком та ін., при цьому найбільш перспективним методом відновлення вважається електролітичне нанесення покриттів залізом [1]. До безсумнівних переваг таких покриттів можна віднести їх відносно низьку собівартість, високу продуктивність та значну товщину осадів, широкий діапазон мікротвердості тощо, але в той же час їм притаманні і такі негативні риси, як значний вміст абсорбованого водню, що може зумовлювати водневу крихкість, втрату пластичності та інші небезпечні аспекти наводнювання, залишкові розтягувальні напруження та тріщинуватість осадів, особливо при їх високій твердості, внаслідок чого втомна міцність деталей після нанесення електролітичних сплавів заліза знижується на 20...40 % [2]. Незважаючи на такий перебіг подій до числа найефективніших технологічних засобів відновлення поверхні деталей та підвищення зносостійкості поверхонь тертя відносять їх гальванохімічну та хіміко-термічну обробку, за допомогою яких суттєво підвищують такі важливі споживчі властивості виробів, як механічний і хімічний опір, твердість та зносостійкість, що здатні протидіяти впливу негативних чинників зовнішнього середовища. Саме цьому застосування таких технологічних засад в багатьох випадках залишається не тільки ефективним, а іноді навіть єдиним засобом вирішення проблем, що виникають на стадії технічного обслуговування широкого спектру машин і механізмів в різних галузях промислового комплексу [3]. В той же час слід звернути увагу на можливість суттєвого поліпшення фізико-хімічних і фізико-механічних характеристик осаджуваних металевих покриттів за рахунок їх легування сплавотвірними компонентами, головним чином – співосаджуваними металами, з метою формування гомогенних сплавів або композитів з металевою матрицею. Саме такий методологічний аспект прикладного матеріалознавства вбачається нам найбільш актуальнішим для вирішення нагальних проблем сьогодення. Стосовно покриттів на основі заліза, то, враховуючи їх функціональне призначення, суттєвий інтерес становить підвищення їх корозійної стійкості та мікротвердості – як головних технічних параметрів, що забезпечують підвищення ресурсу зношуваних поверхонь, а відтак і надійність виробів в цілому. Крім того, існує і суто технологічна проблема практичного застосування електролітів залізнення, пов'язана з їхньою нестабільністю, розв'язання якої також може бути суттєвим внеском в ресурсо- та енергозаощадження гальванохімічних технологій.

З огляду на вищенаведене нам вбачається доцільним та вельми перспективним створення сплавів залізо-молібден за декількох обставин, зокрема, по-перше, такі сплави матимуть значно вищий хімічний опір до дії агресивних компонентів технологічних середовищ та доквілля, оскільки саме введення молібдену до складу легуваних сталей значно підвищує їх корозійну стійкість та, що найбільш суттєво, опір до найбільш небезпечних локальних видів корозії (пітингової, щілинної, біметалевої та ін.) [4], та, по-друге, за рахунок варіювання співвідношення сплавотвірних компонентів у складі сплаву можна керувати іншими його фізико-механічними властивостями (мікротвердістю, рівнем внутрішніх напружень, опором до водневої крихкості тощо). Необхідність вирішення такого завдання, не зважаючи на наявність деяких розв'язків [5], і зумовила дану роботу.

Матеріали та методи досліджень.

Осадження покриттів сплавом залізо-молібден з різним вмістом сплавотвірних компонентів проводили з комплексного електроліту, рН розчину регулювали введенням натрію гідроксиду або сульфатної кислоти. Покриття з різним вмістом сплавотвірних компонентів формували в двох режимах: гальваностатичному при варіюванні густини струму в межах 0,5...5 А/дм²; та в режимі імпульсного електролізу при варіюванні частоти $f = 19...250$ Гц, шпаруватості і амплітуди уніполярного імпульсного струму $j = 0,5...10$ А/дм². Режими електроосадження (тривалість імпульсу/паузи, густину струму) задавали за допомогою потенціостата ПІ-50-1.1 та програматора ПР-8. Сплав товщиною 1...20 мкм осаджували на підкладку зі сталі Ст.20, попередня обробка якої включала стандартну процедуру шліфування, знежирення, промивок і травлення. Теоретичний приріст маси в результаті електролізу розраховували за зако-

ном Фарадея, електрохімічний еквівалент сплаву k_{cn} визначали за формулою:

$$\frac{1}{k_{cn}} = \sum \frac{\omega_i}{k_i},$$

де ω_i – вміст i -го компонента сплаву, % мас.; k_i – електрохімічний еквівалент i -го компонента в сплаві, г/А·год.

Виходячи з практичного приросту маси розраховували товщину отриманого покриття сплавом, для чого визначали густину сплаву ρ_{cn} :

$$\frac{1}{\rho_{cn}} = \sum \frac{\omega_i}{\rho_i},$$

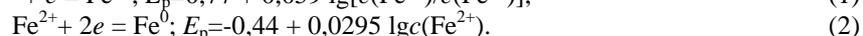
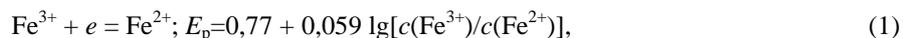
де ρ_i – густина i -го компонента сплаву, г/дм³.

Корозійні випробування покриттів сплавом Fe-Mo проводили в стандартних розчинах хлориду натрію. Перед вимірюваннями комірку попередньо деаерували протягом 15 хв. аргонем високої чистоти. Швидкість корозії визначали методом поляризаційного опору за результатами аналізу поляризаційних залежностей.

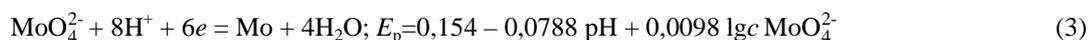
Хімічний склад отриманих покриттів визначали рентгенофлуоресцентним методом з використанням портативного спектрометра «СПРУТ», а також аналізу характеристичного рентгенівського спектру, який реєстрували енергодисперсійним спектрометром INCA Energy 350. Елементний склад та морфологію поверхні покриттів досліджували електронним мікроскопом (СЕМ) ZEISS EVO 40XVP [6]. Мікротвердість покриттів визначали за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3 з навантаженням 20 г.

Результати та їх обговорення.

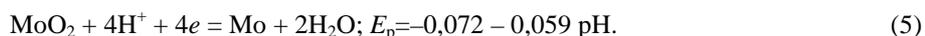
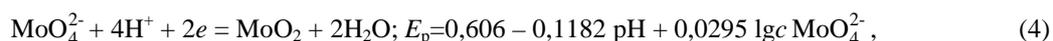
Вихідна гіпотеза створення продуктивного і стабільного електроліту для нанесення будь-якого сплаву базується на урахуванні іонних рівноваг в розчині, співставлення стандартних потенціалів можливих електродних реакцій для сплавотвірних елементів, вибору, за необхідності, термодинамічно сумісних лігандів з наступною дискримінацією альтернативних варіантів і опрацюванням параметрів і режимів електролізу. Стосовно передумов електрохімічного створення сплаву залізо-молібден, то з аналізу витікає, що в нейтральних водних середовищах молібденвмісні частинки присутні у формі моно- MoO_4^{2-} і гептамолібдатів; зокрема, при концентраціях молібдатів вище за 10^{-3} моль/л і при рН 3,0–5,5 в розчині домінує гептамолібдат (парамолібдат) $\text{Mo}_7\text{O}_{24}^{6-}$ або його протоновані форми, а при рН 2–3 з'являються октамолібдати $\text{Mo}_8\text{O}_{26}^{4-}$. Цілком імовірно, що саме означені форми оксометалатів братимуть участь у потенціал-визначальних і електродних реакціях, в той час як процес відновлення заліза (III) відбувається ступінчасто і включає такі стадії:



Імовірність відновлення молібдат(VI)-іонів в одну стадію



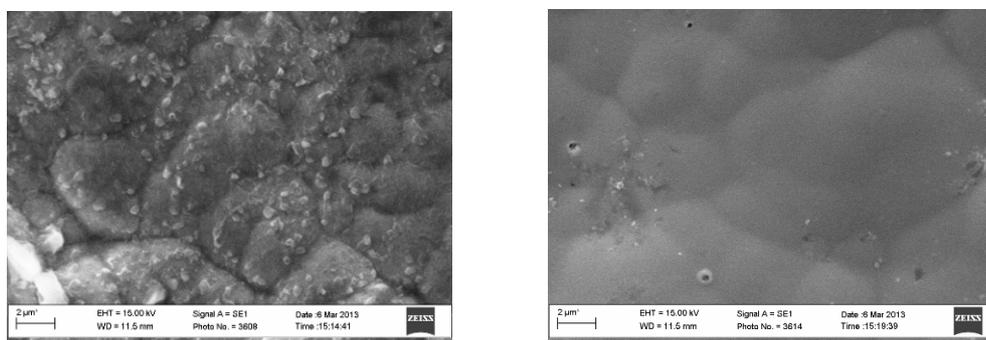
невисока, тому перевагу треба віддати наступній схемі:



Стандартні електродні потенціали відповідних стадій відновлення заліза і молібдену різняться несуттєво, тому співосадження металів у сплав можна забезпечити варіюванням складу розчину, головним чином концентрацій частинок, що розряджаються. Однак треба звернути увагу і на той факт, що відновлення вольфраматів суттєво залежить від рН електроліту і супроводжується утворенням на першій стадії (4) оксиду, електропровідність якого дещо нижче $\rho(\text{MoO}_2) = 8,8 \cdot 10^{-5}$ Ом·см у порівнянні з металом. Фак-

тор рН, як і співвідношення концентрацій сполук сплавотвірних металів в розчині, можуть бути використані для керування складом сплаву.

За результатами досліджень встановлено, що при співвідношенні концентрацій Fe(III)/Mo(VI) на рівні 2,5/1,0 з кислого електроліту (рН<4) формуються низькопоруваті рівномірні покриття з високою адгезією до основи і вмістом молібдену 18,0–29,0 % мас. Помірне нагрівання (до 30 °С) і застосування катодного струму густиною 3–5 А/дм² забезпечують інтенсифікацію електрокристалізації і сприяють поліпшенню якості осаду. Вихід за струмом перевищує відповідні показники традиційних електролітів, що застосовуються для нанесення покриттів залізом і сплавами на його основі, і становить 65–75 %, а швидкість осадження зростає до 20 мкм/год. Необхідно звернути увагу на суттєвий вплив режиму поляризації на склад, структуру, а відтак, і властивості сплаву. Було встановлено, що морфологія покриття, осадженого в стаціонарному режимі, суттєво відрізняється від характеру поверхні сплаву, електрокристалізація якого відбувалась під дією імпульсного струму (рис. 1). Так, в першому випадку покриття є відносно більш шерхуватим (рис. 2, 3), спостерігається доволі явно визначена кристалічна структура, тоді як в іншому – наявна тенденція до її аморфізації. Вже навіть цей факт дає підстави для цілком прогнозованого висновку про суттєве зростання хімічного пору покриттів сплавом залізо-молібден при їх формуванні в нестационарних умовах.



а

б

Рисунок 1 – Вплив режимів електролізу на морфологію поверхні покриттів сплавом Fe-Mo: а – стаціонарний, б – імпульсний. Збільшення x5000

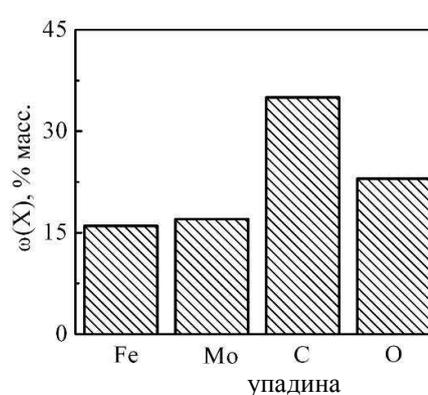
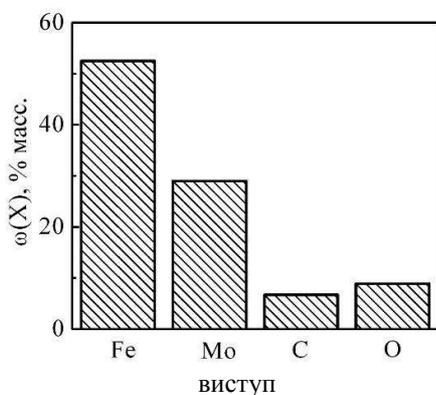
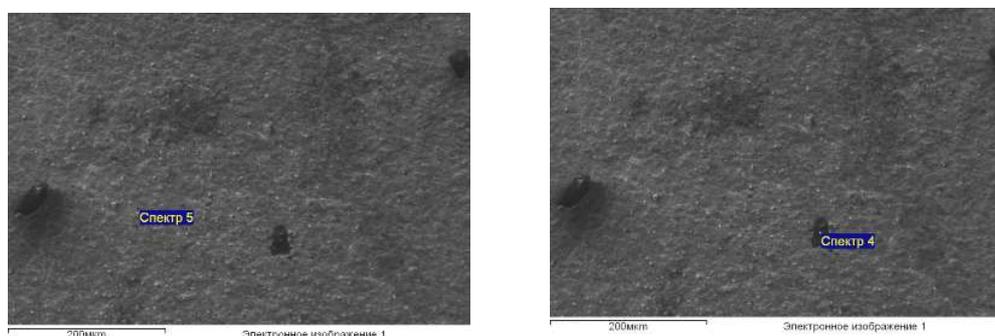


Рисунок 2 – Топографія і склад поверхні сплаву Fe-Mo (стаціонарний режим)

Дійсно, перебіг процесу (1–5) включає стадії хімічних перетворень, швидкість яких очікувано менша за електрохімічні, внаслідок чого наявність паузи між імпульсами поляризації сприяє більш повному перебігу саме хімічних стадій та явищ адсорбції-десорбції, що є спряженими в загальній схемі реакцій.

Аналіз елементного складу поверхонь сплаву (як на виступах, так і в упадинах), свідчить, що залежно від умов електролізу він також змінюється. Виявилось, що в умовах нестационарного електролізу вміст неметалевої складової сплавів (карбон і кисень) суттєво менший, ніж у гальваностатичних умовах. Цей факт є відбитком, принаймні двох аспектів будови сплаву: по-перше, сплав осаджується в більшому ступені гомогенним, що позитивно впливає на його термодинамічну стабільність і сприяє зростанню хімічного опору, та, по-друге, електродна реакція відновлення молібдену, що перебігає через проміжну стадію утворення оксидів (4), в таких умовах відбувається більш повно, тобто стадія (5) перебігає із значним виходом цільового продукту у порівнянні з електролізом в стаціонарних умовах.

Сформовані в катодному процесі покриття сплавом залізо-молібден, незалежно від умов і параметрів електролізу, мають суттєво вищу корозійну стійкість в хлоридвмісних аерованих середовищах, що виявилось цілком прогнозованим експериментальним підтвердженням робочої гіпотези, покладеної в основу синтезу сплаву. Стосовно фізико-механічних властивостей сплаву відзначимо, що також незалежно від умов одержання електролітичного сплаву його мікротвердість вдвічі вища за основний метал (400–430 по відношенню до 200–240 Нм), що віддзеркалює доцільність та перспективи його застосування для відновлення сталевих виробів.

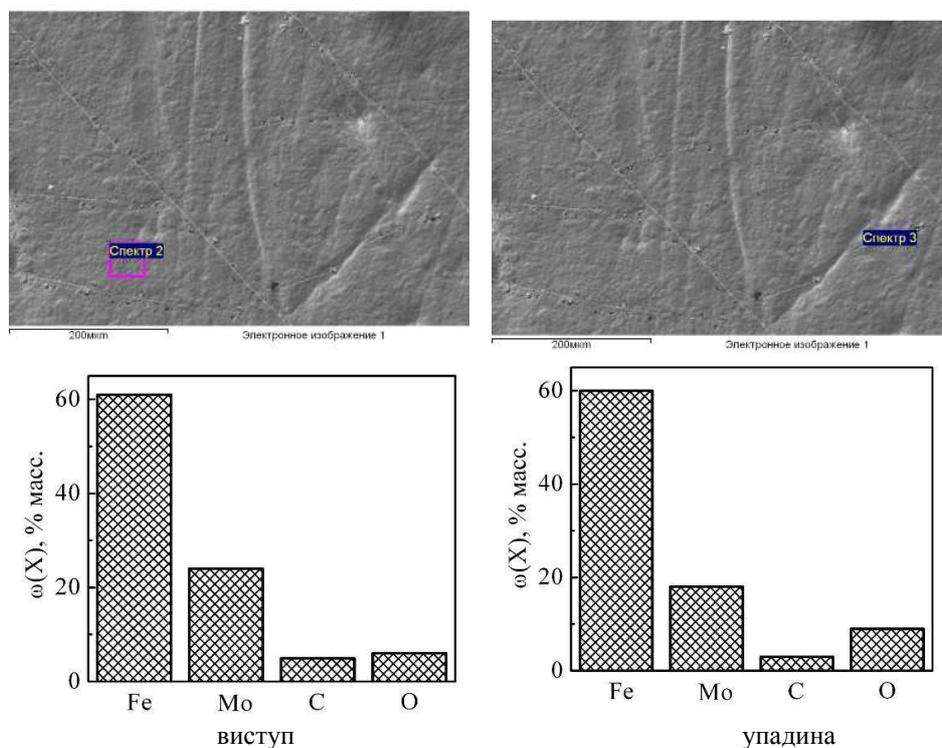


Рисунок 3 – Топографія і склад поверхні сплаву Fe-Mo (імпульсний режим)

Висновки

Таким чином, в результаті досліджень встановлено, що з комплексного електроліту можна наносити якісні покриття сплавом залізо-молібден як в гальваностатичному режимі, так і нестационарним електролізом. При додержанні вимог технологічного процесу вони мають підвищені фізико-механічні та корозійно-електрохімічні властивості і можуть бути застосовані як протикорозійні покриття з високими функціональними властивостями.

Література

1. Пиявский Р.С. Гальванические покрытия в ремонтном производстве / Р.С.Пиявский.– Киев: Техника, 1975. – 176 с.

2. Ковенский И.М. Формирование структуры железоникелевых покрытий в зависимости от условий электрокристаллизации / И.М. Ковенский, В.В. Поветкин // Изв. АН СССР. Металлы, 1990. – № 1. – С. 117–119.
3. Елисеев Ю.С. Химико-термическая обработка и защитные покрытия в авиадвигателестроении / Елисеев Ю.С., Абраимов Н.В., Крымов В.В.– М.: Высшая школа, 1999.– 525 с.
4. Сахненко М.Д. Основы теорії корозії та захисту металів / М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, Т.П. Ярошок.– Харків: НТУ «ХПІ», 2005.– 240 с.
5. Пат. 2174163 Российская федерация, МПК8 С25В 3/56. Способ электролитического осаждения сплава железо-молибден / В.И. Серебровский, Л.Н. Серебровская, Н.В. Коняев и др. –№ 2000118248/02, заявл. 14.06.00; опубл. 10.01.01, Бюл. № 1. – 6 с.
6. Сахненко Н.Д. Принципы повышения коррозионной стойкости сплавов алюминия: гомогенизация поверхности / Н.Д. Сахненко, М.В. Ведь, И.Н. Зинь [и др.] // Украинский химический журнал.– 2010.– Т.76.– № 9.– С. 55–60.

Bibliography (transliterated)

1. Pijavskij R.S. Gal'vanicheskie pokrytija v remontnom proizvodstve R.S.Pijavskij.– Kiev: Tehnika, 1975. – 176 p.
2. Kovenskij I.M. Formirovanie struktury zhelezonikelevykh pokrytij v zavisimosti ot uslovij jelektrokristallizacii I.M. Kovenskij, V.V. Povetkin Izv. AN SSSR. Metally, 1990. – # 1. – p. 117–119.
3. Eliseev Ju.S. Himko-termicheskaja obrabotka i zashhitnye pokrytija v aviadvigatelestroenii Eliseev Ju.S., Abraimov N.V., Krymov V.V.– M.: Vysshaja shkola, 1999.– 525 p.
4. Sahnenko M.D. Osnovi teorii korozii ta zahistu metaliv M.D. Sahnenko, M.V. Ved', T.P. Jaroshok.– Harkiv: NTU «HPI», 2005.– 240 p.
5. Pat. 2174163 Rossijskaja federacija, MPK8 S25B 3/56. Sposob jelektroliticheskogo osazhdenija splava zhelezo-molibden V.I. Serebrovskij, L.N. Serebrovskaja, N.V. Konjaev i dr. –# 2000118248/02, zajavl. 14.06.00; opubl. 10.01.01, Bjul. # 1. – 6 p.
6. Sahnenko N.D. Principy povyshenija korrozionnoj stojkosti splavov aljuminija: gomogenizacija poverhnosti N.D. Sahnenko, M.V. Ved', I.N. Zin' [i dr.] Ukrainskij himicheskij zhurnal.– 2010.– Т.76.– # 9.–p. 55–60.

УДК 621.35

Сахненко Н.Д., Ведь М.В., Каракурчки А.В., Ермоленко И.Ю., Зюбанова С.И.

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Показана возможность электрохимического синтеза функциональных покрытий сплавом железо-молибден с высокой адгезией к подложке. Формирование в гальваностатическом либо нестационарном режиме импульсной поляризации позволяет варьировать состав и структуру покрытий за счет управления маршрутами элементарных стадий электродного процесса. Коррозионная стойкость покрытий сплавом железо-молибден существенно выше традиционных гальванических покрытий железом, а микротвердость вдвое превышает указанный параметр основы, что может быть использовано при разработке технологии восстановления изношенных деталей.

Sakhnenko N.D., Ved M.V., Karakurkchy A.V., Ermolenko I.Yu., Zubanova S.I.

RESOURCESAVING TECHNOLOGY FOR WEAR MACHINE ELEMENTS RESTORATION

The opportunity for electrochemical synthesis of functional iron-molybdenum coatings with high adhesion to substrate was shown. Formation in the galvanostatic mode or in the non stationary pulse polarization regime permits coatings' composition and structure verification caused by control of the elementary electrode steps direction. Iron-molybdenum alloying coatings corrosion resistances as well as microhardness are twice higher than latter both for galvanic iron coatings and substrate. This will be important for wear machine elements restoration technology.

Демирский А.В., Товажнянский Л.Л., Арсеньева О.П., Хавин Г.Л., Капустенко П.А.

**АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ САХАРНОГО СОКА
С УЧЕТОМ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Вступление. Применение пластинчатых теплообменников на сахарных заводах всегда сопровождается загрязнением теплопередающей поверхности слоем отложений. Появление слоя загрязнения на теплообменной поверхности проявляется в виде следующих факторов: роста термического сопротивления передачи тепла через стенку пластины, уменьшения зазора для прохода теплоносителя и изменения значения коэффициента гидравлического сопротивления. Это в свою очередь приводит к снижению тепловых характеристик и увеличению потерь давления в теплообменниках. Такие нарушения технологического режима являются причиной увеличения затрат на энергоносители. Внедрение в промышленность пластинчатых теплообменников потребовало создания математических моделей и методов проектирования пластинчатых аппаратов с учетом образования отложений. Изучение процессов теплопередачи при загрязнении поверхности и развитие методов расчета являются актуальными научными задачами, имеющими важное практическое значение в промышленности.

Современные сахарные заводы России и Украины стандартной комплектации были изначально оборудованы четырьмя кожухотрубчатыми многосекционными скоростными подогревателями очищенного сахарного сока перед выпариванием. Такая схема хорошо описана в литературе [1] и тщательно отработана в производстве для 4-х корпусной выпарной станции с концентратом. На практике на многих заводах уже проведена реконструкция с заменой системы последовательно установленных кожухотрубчатых подогревателей на пластинчатые теплообменники, а на некоторых заводах этот процесс происходит или планируется. В работах [2,3] была сформулирована задача модернизации подогревателей сахарного сока, учитывающая экономические аспекты выбора теплообменных аппаратов. Главной идеей в такой постановке был расчет теплообменника или системы теплообменников по приведенным затратам. Фактически при реконструкции системы последовательно установленных подогревателей проектирование производится на те же температурные и гидравлические условия, на которые рассчитывались кожухотрубчатые аппараты. Известно, что у пластинчатых теплообменников ширина канала значительно меньше, чем у трубчатых, что может приводить к забиванию каналов твердыми и волокнистыми включениями [5,6]. Поэтому необходимо внимательно относиться к подготовке и очистке сока перед системой подогревателей.

При проведении проектных работ по модернизации подогревателей сахарного сока перед выпариванием необходимо учитывать следующие факторы:

- установка пластинчатых подогревателей может привести к увеличению потерь давления по стороне продукта, что, в свою очередь, может вызвать необходимость в увеличении мощности насосного оборудования;
- необходимо учитывать индивидуальные особенности загрязнения поверхности каждого теплообменника.
- на стадии проектирования необходимо учитывать загрязнение поверхности теплообмена аппаратов и предусмотреть возможную остановку и чистку теплообменников в процессе эксплуатации [4].

Постановка задачи и цель работы. Целью настоящей работы является демонстрация возможных вариантов модернизации системы подогревателей перед выпаркой. Представлена практическая реализация работы по модернизации обвязки пластинчатых подогревателей, осуществленная на Валуйском сахарном заводе. Проанализированы трудности и проблемы, возникшие при эксплуатации установленного оборудования за один сезон работы завода 2012–2013 года. Также проанализирована работа теплообменников перед выпарной стацией и предложены решения по модернизации аппаратов и их обвязки с целью уменьшения затрат на разборку и чистку.

Результаты наблюдений и обсуждения. В работе [2] описывалась модернизация компоновки каналов и обвязки трех теплообменников Альфа Лаваль марки М15–М на заводе. Данная модернизация была обусловлена высоким перепадом давления на трех теплообменниках М15–М связанная с теплофизическими характеристиками продукта, отличающимися от заданных в техническом задании. Далее будет представлен анализ работы последовательно установленных аппаратов, позволяющий свести к минимуму время простоя теплообменников.

На заводе установлены следующие теплообменники на позиции подогрева очищенного сахарного сока перед выпаркой:

- 1 ступень – теплообменник GEA марки VT 80, площадь теплообмена 135 м², теплоноситель – пар 4

корпуса выпарной станции;

2 ступень – теплообменник Альфа Лаваль марки М15-М, площадь теплообмена 93 м², теплоноситель – конденсат;

3 ступень – теплообменник Альфа Лаваль марки М15-М, площадь теплообмена 158,7 м², теплоноситель – пар 2 корпуса выпарной станции;

4 ступень – теплообменник Альфа Лаваль марки М15-М, площадь теплообмена 143,8 м², теплоноситель – пар 1 корпуса выпарной станции.

На 2-й, 3-й и 4-й ступенях были установлены теплообменники производства «Альфа Лаваль» изготовленные из нержавеющей стали AISI 316 с толщиной пластины 0,5 мм. Резиновые уплотнения марки EPDM. Для удобства замены пластин и обслуживания было принято решение о компоновке теплообменников одинаковыми каналами.

Для уменьшения стоимости устанавливаемых теплообменников были запроектированы аппараты марки М15М с двумя присоединениями по пару и сахарному соку. Это дает возможность уменьшить скорость теплоносителей в присоединениях и коллекторах, и, как следствие, добиться уменьшения общих потерь давления в аппаратах

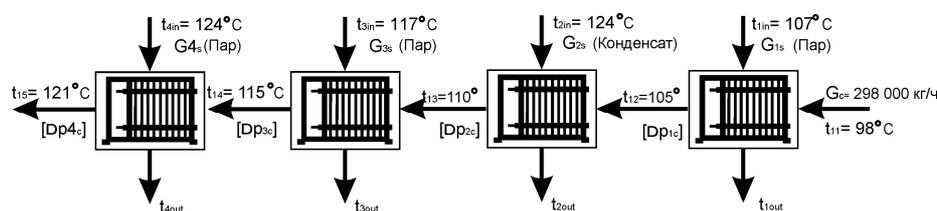


Рисунок 1 – Принципиальная схема теплообменных аппаратов на позиции подогрева сахарного сока перед выпарной станцией

В сезон сахароварения 2012–2013 года теплообменники работали в следующем режиме, представленном в табл. 2.

Таблица 1 – Данные по расходам, температурам и потерям давления на начало сезона для пластинчатых теплообменников подогревателей сока перед выпарной станцией

Параметр	1-я ступень		2-я ступень		3-я ступень		4-я ступень	
	Пар	Сок	Конденсат	Сок	Пар	Сок	Пар	Сок
Расход, т/ч	3,718	298	87,42	298	2,69	298	3,26	298
Температура входа, °С	107	98	124	104	117	110	124	115
Температура выхода, °С	–	105	109	110	–	115	–	121
Проектные потери давления, кПа	0,5	55	10	50	0,4	45	0,5	40

Мониторинг работы установленных аппаратов после пуска завода на 15-й день показал следующее. Несмотря на практически одинаковые потери давления по соку и одинаковые скорости в чистых каналах теплообменников, засорились значительно чаще 1-я и 2-я ступень. Это связано с высокими начальными концентрациями солей кальция в свежем соке, при которых выпадение этих солей в осадок резко возрастает на первом по потоку теплообменнике. В дальнейшем, в связи с уменьшением концентрации, на следующих теплообменниках загрязнение снижается, несмотря на рост температуры.

На 15-й день работы завода потери давления в 1-й и 2-й ступени выросли в 3 раза (120–130 кПа) и было принято решение на остановку и очистку теплообменников. Разборка теплообменника показала, что каналы по пару/конденсату чистые (рис. 2, а), а по соку присутствуют отложения в виде солей кальция и свекловичных волокон (рис. 2, б), что говорит о некачественной работе фильтрующего оборудования установленного до подогревателей. Больше всего было отложений на распределительном участке пластин по входу сока.

Больше всего были загрязнены присоединения 1-й и 2-й ступени по входу сахарного сока. Основные отложения это свекловичные волокна и окалина. Такое резкое увеличение потерь давления по стороне сока и загрязнение поверхности теплообмена связано с плохой промывкой трубопроводов перед пуском завода.

В табл. 2 приведен рост потерь давления в четырех теплообменниках. Из которой можно видеть, что,

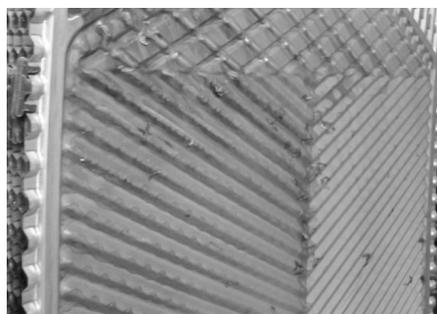
несмотря на разборку и чистку 1-й и 2-й ступени на 15-день работы завода, эти теплообменники засоряются гораздо сильнее 3-й и 4-й ступени.

Таблица 2 – Данные по потерям давления на начало сезона, 15-й, 45-й, 90-й и 130-й день для пластинчатых теплообменников подогревателей очищенного сока перед выпарной станцией (расход сока 298 000 кг/ч)

Параметр	День	1-я ступень	2-я ступень	3-я ступень	4-я ступень
		Сахарный сок	Сахарный сок	Сахарный сок	Сахарный сок
dP, КПа	1	55	50	40	45
dP, КПа	15	130 (чистка)	120 (чистка)	90	70
dP, КПа	16	55	50	90	70
dP, КПа	45	130 (чистка)	80	110	80
dP, КПа	46	55	80	110	80
dP, КПа	90	130 (чистка)	100	140	90
dP, КПа	91	55	100	140	90
dP, КПа	130	150	140	170	100



а)



б)

Рисунок 2 – Пластины после разборки теплообменника:
а – паровой канал, б – продуктовый канал



Рисунок 3 – Фотографии входных коллекторов по соку после разборки

Заключение. Проанализировав полученные результаты, были сделаны следующие выводы. Увеличение потерь давления по стороне сока в начале сезона можно объяснить плохой промывкой трубопроводов, нестабильностью и качеством работы фильтрующего оборудования. Эта проблема решается установкой механических фильтров непосредственно перед теплообменниками. Так же рекомендуется сделать обвязку 1-й и 2-й ступени с возможностью промывки теплообменников по стороне сока обратным потоком [7]. Такая схема представлена на рис. 4. При одновременном закрытии задвижек 1 и открытии задвижек 2 меняется направление потока сока, что способствует очистке теплообменников.

Учитывая склонность к отложениям на первых ступенях, рекомендуется проектировать эти теплообменники с большим запасом поверхности, чем обычно. С другой стороны, увеличение запаса приводит к уменьшению скорости потока в каналах и, как следствие, к интенсификации зарастанию поверхности отложениями. Поэтому эта проблема носит комплексный характер и ее необходимо решать совместно с

модернизацией насосного оборудования с целью увеличения скорости в каналах теплообменника.

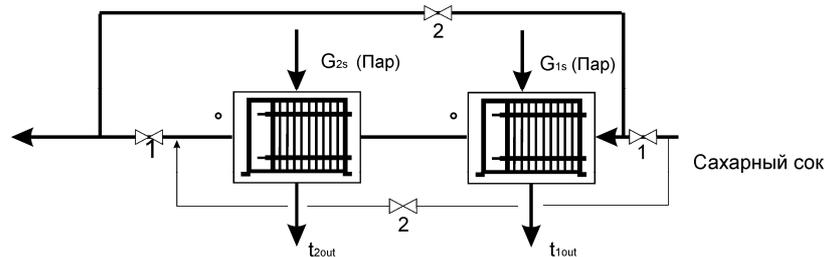


Рисунок 4 – Принципиальная схема обвязки теплообменников с возможностью промывки обратным потоком

Литература

1. Гребенюк С.М. Технологическое оборудование сахарных заводов / С.М. Гребенюк – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.– 517 с.
2. Арсеньева О.П. Модернизация системы последовательно установленных подогревателей сахарного сока / О.П. Арсеньева, Т.Г. Бабак, А.В. Демирский, Г.Л. Хавин // Наукові праці ОНАХТ.– Одеса: 2011, Вип. 39.– Т.2.– С. 151–155.
3. Арсеньева О.П. Оптимизация пластинчатого теплообменника / О.П. Арсеньева, А.В. Демирский, Г.Л. Хавин // Пробл. машиностроения.– 2011.– т.14, №1.– С. 23–31.
4. Колесников В.А. Эффективный нагрев продуктов – основа совершенствования теплоиспользования на сахарных заводах / В.А. Колесников, А.Ю. Аникеев, С.А. Захаров, И.В. Овсянников // Сахар, 2007.– №7.– С. 36–38.
5. Товажнянский Л.Л. Пластинчатые теплообменники в промышленности / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004.– 232 с.
6. Товажнянский Л.Л. Реконструкция тепловой схемы сахарного завода с использованием пластинчатых теплообменных аппаратов / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, А.В. Демирский, Г.Л. Хавин // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: ХДПУ. – 2003, №2.– С. 3–9.
7. Демирский А.В. Реконструкция отделения очистки сахарного сока с применением пластинчатых теплообменников / А.В. Демирский, Г.Л. Хавин // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2008, №2.– С. 98–102.

Работа выполнена при финансовой поддержке Европейского союза по проектам EC FP7 project “Distributed Knowledge-Based Energy Saving Networks” – DISKNET, Grant Agreement No: PIRSES-GA-2011-294933 and EC project “Efficient Energy Integrated Solutions for Manufacturing Industries” – EFENIS, Grant Agreement No. ENER/FP7/296003/EFENIS.

Bibliography (transliterated)

1. Grebenjuk S.M. Tehnologicheskoe oborudovanie saharnyh zavodov S.M. Grebenjuk – M.: Legkaja i pishhevaja promyshlennost', 1983.– 517 p.
2. Arsen'eva O.P. Modernizacija sistemy posledovatel'no ustanovlennyh podogrevatelej sahar-nogo soka O.P. Arsen'eva, T.G. Babak, A.V. Demirskij, G.L. Havin Naukovi praci ONAHT.– Odesa: 2011, Vip. 39.– T.2.– p. 151–155.
3. Arsen'eva O.P. Optimizacija plastinchatogo teploobmennika O.P. Arsen'eva, A.V. Demirskij, G.L. Havin Probl. mashinostroenija.– 2011.– t.14, #1.– p. 23–31.
4. Kolesnikov V.A. Jefferktivnyj nagrev produktov – osnova sovershenstvovanija teploispol'zo-vanija na saharnyh zavodah V.A. Kolesnikov, A.Ju. Anikeev, S.A. Zaharov, I.V. Ovsjannikov Sahar, 2007.– #7.– p. 36–38.
5. Tovazhnjanskij L.L. Platinchatye teploobmenniki v promyshlennosti L.L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, G.L. Havin, O.P. Arsen'eva. – Har'kov: NTU «HPI», 2004.– 232 p.
6. Tovazhnjanskij L.L. Rekonstrukcija teplovoj shemy saharного завода s ispol'zovaniem plastin-chatyh teploobmennyh apparatov L.L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, A.V. Demirskij, G.L. Havin Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – Harkiv: HDPU. – 2003, #2.– p. 3–9.
7. Demirskij A.V. Rekonstrukcija otdelenija ochistki saharного soka s primeneniem plastinchatyh teploobmennikov A.V. Demirskij, G.L. Havin Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – Harkiv: NTU “HPI”. – 2008, #2.– p. 98–102.

Rabota vupolnena pri finansovoj podderzhke Evropejskogo sojuza po proektam EC FP7 project “Dis-tributed Knowledge-Based Energy Saving Networks” – DISKNET, Grant Agreement No: PIRSES-GA-2011-294933 and EC project “Efficient Energy Integrated Solutions for Manufacturing Industries” – EFENIS, Grant Agreement No. ENER/FP7/296003/EFENIS.

УДК 621.1.016:579

Демірський О.В., Товажнянський Л.Л., Арсеньєва О.П., Хавін Г.Л., Капустенко П.О.

**АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ ПІДГРІВНИКІВ ЦУКРОВОГО СІКУ З УРАХУВАННЯМ
ЗАБРУДНЕННЯ ТЕПЛООБМІННОЇ ПОВЕРХНІ**

Розглянуто питання практичної модернізації системи підігрівників цукрового соку перед випаровуванням. Проаналізована робота системи підігрівників за сезон 2012–2013 року. Проведений моніторинг роботи встановлених теплообмінників довів, що в наявності має місце забруднення теплообмінної поверхні та збільшення втрат тиску в перші часи роботи системи. Запропоновані рішення для зменшення забруднення теплообмінників та зростання часу роботи без чистки.

Demirskyy A., Tovazhnyanskyy L., Arsenyeva O., Khavin G., Kapustenko P.

**THE ANALYSYS OF SUGAR JUICE PLATE HEATERS SYSTEM IN VIEW OF DEPOSITS ON THE
HEAT TRANSFER SURFACES**

The question of practical retrofit of the system of heaters of thin sugar juice before evaporation is considered. The operation of the heat exchangers network in season 2012–2013 is analyzed. The monitoring of heat exchangers operation has shown the increase of fouling and pressure drop, especially at initial period. The solution to reduce fouling and increase of heat exchangers operating time without cleaning is proposed.

ВПЛИВ СПОСОБУ ПОДРІБНЕННЯ НА ЕНЕРГОВИТРАТИ ПРОЦЕСУ

В багатьох галузях промисловості особливе місце займають процеси подрібнення матеріалів, як найбільш важливі та енергоємні. В теорії розрахунку витрат енергії на подрібнення найбільш відомі методи, запропоновані Рітцінгером, Кірпічовим-Кіком, Бондом і Рундквістом [1, 2, 3]. Але жоден з них не знайшов практичного застосування через те, що вони враховують лише геометричні розміри часток, які подрібнюються, та характеристики матеріалу, не зважаючи на спосіб та умови подрібнення. Все це ускладнює використання звичайних методів для опису реальних процесів подрібнення.

Твердий матеріал можна зруйнувати та подрібнити до часток бажаного розміру розчавлюванням, розколюванням, розламуванням, різанням, зтиранням, ударом та різними поєднаннями цих способів. В більшості видів промислових подрібнювачів втілено поєднання подрібнення ударом та тертям, зокрема в подрібнювачах з вільними тілами, що подрібнюють.

Нами пропонується метод розрахунку енерговитрат процесу подрібнення в залежності від співвідношення впливу способів ударного руйнування та руйнування тертям, а також зміни міцнісної характеристики матеріалу в процесі подрібнення.

Для руйнування часток матеріалу витрачається певна кількість енергії, що залежить від міцності матеріалу, що подрібнюється. Максимальною (теоретичною) міцністю характеризується гіпотетичне тверде тіло з бездефектною кристалічною будовою, в якому відсутні фізичні макродефекти. Реальна міцність матеріалів завжди менше теоретичної через наявність таких дефектів. Теоретична міцність однорідного матеріалу характеризується напругою, необхідною для поділу двох прилеглих один до іншого шарів атомів. Рівняння, яке запропоновано Орованом-Келлі [5], дозволяє розрахувати теоретичну міцність матеріалу, з умови, що в момент руйнування вся енергія пружної деформації, яка накопичена в обсязі між двома шарами, переходить в поверхневу енергію двох новоутворених при руйнуванні поверхонь.

Згідно зі статистичною теорією міцності [1], дефекти в будові твердого тіла розподілені стохастично за об'ємом; тобто зменшення розмірів часток приводить до зменшення числа дефектів. Залежність міцності твердих тіл від лінійних розмірів є масштабним ефектом або масштабним фактором.

В подрібнювачах (кульові, вібраційні млини) з вільними тілами матеріал руйнується за рахунок розколювання часток внаслідок ударного впливу та стирання. Інтенсивне перекочування часток матеріалу та кульового завантаження призводить до того, що форми часток будуть наближатися до випуклих, так як всі загострення будуть концентраторами напружень, які руйнуються в першу чергу.

Подрібнення матеріалу проходить поетапно. Ударний вплив призводить до розколювання частинки матеріалу щонайменше на дві частини. Кожен з обламків обтирається за рахунок сил тертя і приймає випуклу форму. Частина матеріалу, що утворюється за рахунок стирання, вважається дуже дисперсною і тому не приймає участі у подальшому процесі подрібнення. Кожна з частинок отриманих після розколювання початкової частки та обтирання, знову розколюється щонайменше на дві частинки, кожна з котрих обтирається до випуклої форми. Таким чином процес триває доки частки матеріалу не зменшаться до потрібного розміру (рис. 1).

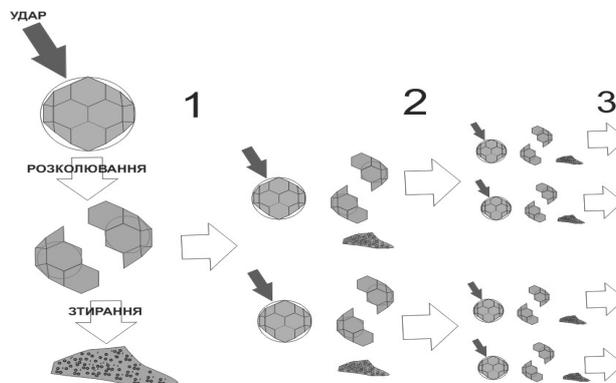


Рисунок 1 – Стадії руйнування частки матеріалу під впливом ударного навантаження та сил тертя

Корисна робота, що витрачається на подрібнення, розділяється на дві складові: роботу удару (A_p) та роботу тертя (A_{mp}):

$$A = A_p + A_{mp} \quad (1)$$

Руйнування ударом (розколювання) виникає, коли енергія пружної деформації, що накопичена тілом, переходить в поверхневу енергію утворення нової поверхні:

$$A_p = \frac{\sigma^2 V}{2E} = \frac{\sigma^2 k d^3}{2E}, \quad (2)$$

де σ – границя міцності на стискання частки матеріалу, Па/м²; V – об’єм частки матеріалу, м³; d – розмір частки матеріалу (діаметр сфери описаної навколо багатогранника, до форми якого прямує форма частки матеріалу), м; k – коефіцієнт форми; E – модуль пружності матеріалу (модуль Юнга), Па/м².

На подрібнення тертям в кульовому млині (за Таггартом [5]) витрачається близько 1,5–2 % енергії, що відповідає долі маси (об’єму) матеріалу, який стирається.

Пропонується ввести параметр p , який характеризує долю енергії, що приходить на подрібнення ударом. Тоді енергії тертя відповідає доля в $(1-p)$.

Міцність матеріалу починає значно збільшуватись з досягненням частки певного критичного розміру – $d_{кр}$, який визначається окремо для кожного матеріалу [5]. Тобто процес подрібнення внаслідок розколювання під впливом ударного навантаження можна поділити на дві частини: подрібнення до критичного розміру часток і подрібнення часток до розміру, меншого за критичний. В першій частині процесу подрібнення проявом масштабного ефекту можна знехтувати через незначне його проявлення та прийняти значення границі міцності матеріалу на стискання постійним. Воно повинно дорівнювати практичному значенню границі міцності для даного конкретного матеріалу – σ_{np} . Припустимо, що перша частина процесу подрібнення – від початкового розміру d до критичного розміру $d_{кр}$, реалізується за n_1 етапів. Тоді енергія, яка необхідна для руйнування ударом однієї частки матеріалу в першій частині процесу подрібнення дорівнює

$$A_{p1} = \frac{\sigma_{np}^2 k d^3}{2E} \sum_{i=0}^{n_1} p^i \quad (3)$$

В другій частині процесу подрібнення границя міцності починає зростати, тобто її значення буде залежати від розміру частинки (ступеню подрібнення, або етапу подрібнення). Пропонується представляти прояв масштабного ефекту починаючи від розміру частки $d_{кр}$ у вигляді експоненційної залежності границі міцності від етапу подрібнення. Таким чином границя міцності буде асимптотично прямувати від практичного значення до теоретичного:

$$\sigma_i = \sigma_{np} + \sigma_m (1 - e^{-\alpha i}), \quad (4)$$

де σ_i – границя міцності на стискання на i -му етапі подрібнення, Па/м²; σ_{np} – практичне значення границі міцності на стискання для даного матеріалу для часток більших за розміром, ніж $d_{кр}$, Па/м²; σ_m – теоретичне значення границі міцності матеріалу на стискання, що визначається за рівнянням Орована-Келлі, Па/м²; α – коефіцієнт масштабного ефекту, який визначається емпірично для кожного конкретного матеріалу при заданому значенні p для даного процесу подрібнення; i – етап подрібнення.

Для другої частини процесу значення енергії, що витрачається на подрібнення однієї частки матеріалу від початкового розміру $d_{кр}$ до заданого можна визначити наступним рівнянням:

$$A_{p2} = \frac{k d_{кр}^3}{2E} \sum_{i=0}^{n_2} \left[p^i (\sigma_{np} + \sigma_m (1 - e^{-\alpha i}))^2 \right], \quad (5)$$

де n_2 – кількість етапів подрібнення другої частини процесу.

Руйнування тертям – обтирання виникає за рахунок накопичення руйнівних напруг в нескінченно тонких поверхневих шарах часток матеріалу в результаті чого видаляється матеріал у вигляді надтонкої фракції. Кожен етап руйнування, коли обтиранням видаляється доля матеріалу $(1-p)$, містить в собі безліч

послідовностей обтирання надтонких шарів матеріалу, сумарний об'єм яких складає $kd^3(1-p^n)$. Оскільки процес обтирання протікає поетапно з накопиченням руйнівної напруги в надтонкому шарі матеріалу, то границя міцності для цього процесу прямує до теоретичного значення за рахунок малих об'ємів накопичення та руйнування. Це зумовлено мінімально можливою кількістю дефектів структури для нескінченно малого об'єму матеріалу.

Робота сил тертя, яка витрачається на обтирання $(1-p)$ долі матеріалу частки початковим розміром d дорівнює:

$$A_{mp1} = \frac{\sigma_m^2 kd^3}{2E} (1 - p^{n_1}) \quad (6)$$

для першої частини процесу подрібнення;

$$A_{mp2} = \frac{\sigma_m^2 kd_{kp}^3}{2E} (1 - p^{n_2}) \quad (7)$$

для другої частини.

Виразу, що визначає роботу, яка витрачається на подрібнення частки матеріалу від початкового розміру d до розміру початку прояву масштабного ефекту d_{kp} за n_1 етапів, визначається сумою рівнянь (3) та (6):

$$A_1 = \frac{kd^3}{2E} \left(\sigma_{np}^2 \sum_{i=0}^{n_1} p^i + \sigma_m^2 (1 - p^{n_1}) \right). \quad (8)$$

Після додавання рівнянь (5) та (7) отримаємо вираз для визначення роботи, яка витрачається на подрібнення частки матеріалу від розміру початку прояву масштабного ефекту d_{kp} до кінцевого розміру d_k в n_2 етапів:

$$A_2 = \frac{kd_{kp}^3}{2E} \left(\sum_{i=0}^{n_2} \left[p^i (\sigma_{np} + \sigma_m (1 - e^{-\alpha i}))^2 \right] + \sigma_m^2 (1 - p^{n_2}) \right). \quad (9)$$

У випадку розглядання подрібнення частки від початкового розміру d , більшого за d_{kp} до кінцевого розміру d_k , меншого за d_{kp} , робота, яка витрачається на подрібнення виражається у вигляді суми рівнянь (8) та (9). Необхідно враховувати той факт, що на початку другої частини в процесі подрібнення приймає участь a^{n_1} часток розміром d_{kp} , які було утворено в результаті подрібнення початкової частинки за n_1 етапів. Приймаємо мінімальне значення кількості часток, що утворюються в результаті розколювання під впливом ударного навантаження $a = 2$. Звідси:

$$A = \frac{kd^3}{2E} \left(\sigma_{np}^2 \sum_{i=0}^{n_1} p^i + \sigma_m^2 (1 - p^{n_1}) \right) + 2^{n_1} \frac{kd_{kp}^3}{2E} \left(\sum_{i=0}^{n_2} \left[p^i (\sigma_{np} + \sigma_T (1 - e^{-\alpha i}))^2 \right] + \sigma_m^2 (1 - p^{n_2}) \right). \quad (10)$$

Вираз (10) показує залежність роботи, витраченої на подрібнення однієї частинки, від етапу подрібнення. Для того, щоб сформулювати аналогічну залежність для подрібнення матеріалу масою m_m , треба вираз (10) помножити на кількість частинок N , що міститься в матеріалі масою m_m :

$$N = \frac{m_m}{m_q} = \frac{m_m}{kd^3 \rho}, \quad (11)$$

де m_m – маса матеріалу, що підлягає подрібненню, кг; m_q – маса однієї початкової частки матеріалу, що підлягає подрібненню, кг; ρ – густина матеріалу, кг/м³. Це дає змогу знайти значення енергії, яка витрачається на подрібнення:

$$A = \frac{m_M}{2E\rho} \left(\left(\sigma_{np}^2 \sum_{i=0}^{n_1} p^i + \sigma_m^2 (1 - p^{n_1}) \right) + \left(+ 2^{n_1} \frac{d_{kp}^3}{d^3} \left(\sum_{i=0}^{n_2} \left[p^i (\sigma_{np} + \sigma_T (1 - e^{-\alpha i}))^2 \right] + \sigma_m^2 (1 - p^{n_2}) \right) \right) \right). \quad (12)$$

Для того, щоб виразити значення енергії, яка витрачається на подрібнення від геометричних розмірів часток матеріалу, що подрібнюється, визначимо значення кількості етапів подрібнення у кожній частині цього процесу: Максимальна ступень подрібнення матеріалу – u дорівнює:

$$u = \frac{d}{d_\kappa}. \quad (13)$$

З кожним етапом кожна частка розколюється на a шматків. Звідси можна стверджувати, що

$$a^n = \frac{d^3}{d_\kappa^3} = u^3. \quad (14)$$

Прийнявши мінімальне значення $a = 2$, визначимо кількість етапів, необхідних для отримання певного розміру частки матеріалу, що подрібнюється:

$$n = \frac{3 \lg u}{\lg 2} \approx 10 \lg \frac{d}{d_\kappa}. \quad (15)$$

З цього рівняння можна виразити кількості етапів першої

$$n_1 = 10 \lg \frac{d}{d_{kp}} \quad (16)$$

та другої

$$n_2 = 10 \lg \frac{d_{kp}}{d_\kappa} \quad (17)$$

частин процесу помелу.

Залежність роботи, що витрачається на подрібнення маси матеріалу m_m комбінованим способом удару та зтирання від початкового та кінцевого розміру часток, характеристик матеріалу (початкова практична границя міцності, розмір частки початку прояву масштабного ефекту, коефіцієнт масштабного ефекту, теоретична границя міцності даного матеріалу, параметр характеру процесу помелу) визначається шляхом підстановки виразів (16) та (17) до рівняння (12):

$$A = \frac{m_M}{2E\rho} \left(\left(\sigma_{np}^2 \sum_{i=0}^{10 \lg \frac{d}{d_{kp}}} p^i + \sigma_T^2 \left(1 - p^{10 \lg \frac{d}{d_{kp}}} \right) \right) + \left(+ 2^{10 \lg \frac{d}{d_{kp}}} \frac{d_{kp}^3}{d^3} \left(\sum_{i=0}^{10 \lg \frac{d_{kp}}{d_\kappa}} \left[p^i (\sigma_{np} + \sigma_m (1 - e^{-\alpha i}))^2 \right] + \sigma_m^2 \left(1 - p^{10 \lg \frac{d_{kp}}{d_\kappa}} \right) \right) \right) \right). \quad (18)$$

Графічне зображення виразу (18) представлено рисунком 2. Сімейство кривих на рис. 2 відображають зміну значень енергії, яка витрачається на подрібнення, від величин долей впливу ударного руйнування (параметру p) в процесах помелу з різними значеннями ступеню подрібнення.

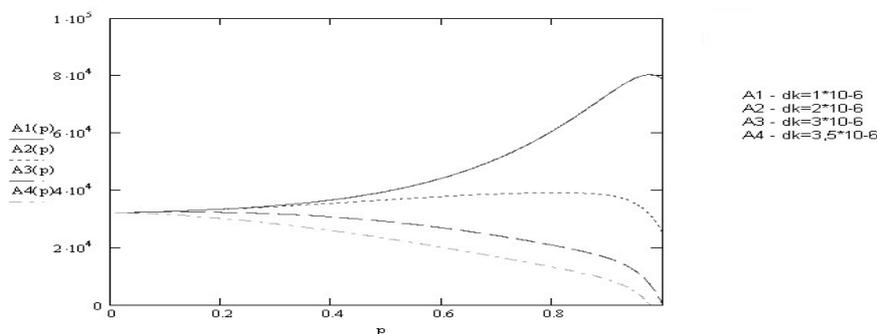


Рисунок 2 – Залежність роботи, яка витрачається на подрібнення, від доли впливу ударного руйнування для різних розмірів часток кінцевого продукту

Висновки. Вперше встановлено залежність енерговитрат процесу подрібнення від характеристик матеріалу та способу подрібнення – рівняння (18). Запропоновано використання параметру p , за допомогою якого можна задавати співвідношення впливу різних способів подрібнення на процес помелу. Це дало можливість порівняти значення енергії, що витрачається на подрібнення, в залежності від доли впливу ударного руйнування та руйнування тертям для процесів з різним рівнем дисперсності вихідного продукту. Це дає можливість застосувати раціональний спосіб подрібнення. Отримане рівняння свідчить про те, що в процесі помелу, коли розмір часток кінцевого продукту більший за критичний розмір частки, більш раціонально подрібнення ударом. При більш тонкому подрібненні збільшення доли енергії, яка приходить на руйнування тертям, призводить до значного зменшення енерговитрат процесу подрібнення.

Література

1. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности / Сиденко П.М. – М. : Химия, 1977. – 305 с.
2. Бонд Ф.С. Законы дробления / Бонд Ф.С. – М. : Стройиздат, 1966. – С. 195–208.
3. Рундквист А.К. Общая форма законов дробления / Рундквист А.К. – Научно-технический бюллетень Механобра, 1956. – №2
4. Таггарт А.Ф. Справочник по обогащению полезных ископаемых / Таггарт А.Ф. – Metallurgizdat, 1950. – Т. 2.– 270 с.
5. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. – М. : Недра, 1981. – 415 с.

Bibliography (transliterated)

1. Sidenko P.M. Izmel'chenie v himicheskoy promyshlennosti Sidenko P.M. – M. : Himija, 1977. – 305 p.
2. Bond F.S. Zakony droblenija Bond F.S. – M. : Strojizdat, 1966. – p. 195–208.
3. Rundkvist A.K. Obshhaja forma zakonov droblenija Rundkvist A.K. – Nauchno-tehnicheskij bjulleten' Mehanobra, 1956. – #2
4. Taggart A.F. Spravochnik po obogashheniju poleznyh iskopaemyh Taggart A.F. – Metallurgizdat, 1950. – Т. 2.– 270 p.
5. Andreev S.E. Droblenie, izmel'chenie i grohochenie poleznyh iskopaemyh Andreev S.E., Perov V.A., Zverevich V.V. – M. : Nedra, 1981. – 415 p.

УДК 666.9

Кузнецова М.М., Ведь В.Е.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ПРОЦЕССА

Предлагается метод определения энергии, затрачиваемой на помол материала, в зависимости от соотношения степени влияния ударного разрушения и разрушения трением, а также изменения прочностной характеристики материала в процессе измельчения.

Kuznetsova M.M., Ved V.E.

THE INFLUENCE OF A GRINDING MODE ON THE POWER INPUTS OF THE PROCESS

A method of energy definition was suggested, that is spend for grinding of a material, depending on the correlation of the scope of the impact fracture and friction distraction, and also change of the strengthening characteristic of the material in the process of grinding.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ТЕПЛА ТЕПЛООВОГО НАСОСА ДЛЯ СИСТЕМЫ ГВС В МЕЖОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД

Вступление. Появление промышленно производимых тепловых насосов (ТН) естественным образом сформировало вопрос о возможности их применения в системах централизованного горячего водоснабжения (ГВС) в зданиях массовой застройки. При этом проблема состоит не в замене имеющихся центральных тепловых пунктов (ЦТП) или индивидуальных тепловых пунктов (ИТП), а в их модернизации.

Одним из перспективных направлений модернизации является устройство ТН для обеспечения горячей водой потребителей в межотопительный период. Такой подход дает возможность полностью или частично отключить систему ГВС от тепловой сети с полной остановкой на этот период работы районных котельных или магистральных тепловых сетей.

Состояние проблемы и формулировка задачи. Подавляющее число ТП в настоящее время оборудовано двухступенчатой смешанной схемой присоединения системы ГВС к тепловым сетям. За прошедшие 15 лет произошла массовая замена кожухотрубных теплообменных аппаратов на пластинчатые, что позволило не только повысить эффективность работы, но и существенно освободить производственные помещения тепловых пунктов. Возможность использования ТН в системе подготовки горячей воды в жилых многоэтажных зданиях и перспективы его использования были рассмотрены отечественными исследователями еще в 90-х годах [1,2]. Идея использования системы отопления в качестве одного из теплоносителей, по всей видимости, впервые была предложена в работе [3]. Перечисленные обстоятельства не могли не привести к появлению вопроса использования уже имеющегося оборудования ТП в качестве элементов теплового насоса для получения горячей воды в межотопительный период. Как известно, в состав оборудования ТП входят испаритель и конденсатор, а в состав оборудования теплового пункта входят теплообменник системы отопления и теплообменники 1-й и 2-й ступени смешанной схемы ГВС. Поэтому возникает вопрос о возможности использования теплообменников теплового пункта в составе оборудования теплового насоса. Это позволило бы использовать эти аппараты также в межотопительный период, уменьшить капитальные затраты на установку ТН и частично отказаться от сетевого теплоносителя для получения горячей воды.

На пути практической реализации таких проектов имеются существенные препятствия технического и экономического характера, а именно:

- отсутствие реального источника тепла для ТН необходимой мощности;
- имеющиеся в наличии теплообменные аппараты ТП составляют разборные пластинчатые теплообменники различных производителей;
- достаточно высокая температура нагрева воды (55–60 °С);
- отсутствие законодательной базы для использования ТН;
- реальная экономическая обоснованность установки ТН на тепловом пункте;
- стабильная работа ТН в условиях неравномерности часовой нагрузки ГВС;
- бесшумность работы ТН при установке в подвальном помещении здания.

Среди реальных источников тепла для ТН, обеспечивающего высокую мощность системы ГВС порядка 150–1000 кВт, можно выделить два. Первый, горизонтальные грунтовые теплообменники, оборудованные в подвальном помещении здания, и второй, вода системы отопления здания в качестве источника тепла. Горизонтальные грунтовые теплообменники наиболее перспективно проектировать на стадии строительства многоквартирного дома, особенно если он оборудуется в подвале паркингом для автомобилей. Для уже построенного здания устройство горизонтально грунтового теплообменника проблематично, так как в подвальном помещении уже имеются коммуникации отопления, ГВС, вентиляции, канализации, электро- и газоснабжения. Технически такая задача может быть решена, но требует больших капитальных вложений и значительной предварительной подготовки.

Постановка задачи и цель работы. Главными вопросами установки ТН в совокупности с тепловым пунктом системы отопления и ГВС являются: возможность технической реализации, качественная и безотказная работа оборудования, и экономическая целесообразность. Иными словами как установку ТН реализовать технически на имеющемся тепловом пункте, будет ли она качественно выполнять свои функции, насколько это выгодно с экономической точки зрения и какой срок окупаемости капитальных затрат на оборудование. Попытка рассчитать, проанализировать и обосновать предложенный подход установки ТН является предметом рассмотрения настоящей работы.

Теоретические положения. Система отопления здания в межотопительный период остается, как правило, заполненной и теплоноситель имеет температуру помещения. Более того, в летний период большинство помещений в дневное время требует охлаждения, которое в настоящее время реализуется через систему вентиляции и местного кондиционирования. В дневное время происходит и основное потребление горячей воды. Нагрев отопительной воды в приборах позволил бы производить охлаждение помещений и использовать ее для приготовления горячей воды на тепловом пункте. Фактически в межотопительный период имеет место двойная выгода – приготовление горячей воды за счет охлаждения квартир потребителей в дневное время. Главным ограничением здесь, по всей видимости, являются следующие факторы. Температура в помещениях не должна снижаться ниже законодательно установленной комфортной величины в любое время года, когда отключено отопление. Если принять в качестве нижней границы температуры в помещении $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, то реально в апреле-мае или сентябре-октябре возможности использовать теплоноситель системы отопления в этот период не представляется возможным. С повышением температуры наружного воздуха повышается температура внутри помещений и появляется возможность использовать отопительную воду в качестве источника тепла для ТН и охлаждения помещений. Исходя из наблюдений за средней температурой наружного воздуха в европейской части Украины и России, реально работа ТН может начинаться с середины мая и заканчиваться в середине сентября, т.е. время работы ТН сокращается с 6 месяцев межотопительного периода до 3–4 месяцев. В этот период реально рассчитывать на температурный график воды из системы отопления $24\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в мае-июне и августе-сентябре и $28\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ в июле-августе. Кроме того, работа системы отопления осуществляется за счет принудительной насосной циркуляции теплоносителя, для преодоления гидравлического сопротивления системы трубопроводов и отопительных приборов. В среднем сопротивление жилого здания стандартной серии оценивается в 20–40 кПа в зависимости от этажности. Однако в процессе эксплуатации за счет появления отложений в трубопроводах и приборах отопления величина гидравлического сопротивления возрастает и в ряде случаев может перераспределяться между ветвями и стояками системы отопления. Последнее обстоятельство может привести к тому, что при работе ТН в межотопительный период некоторые помещения будут переохлаждаться, другие перегреваться. Аналогичная ситуация наблюдается и при работе системы отопления, она преодолевается за счет гидравлической балансировки стояков системы.

Большинство установленных пластинчатых теплообменников на ЦТП и ИТП составляют разборные аппараты различных производителей. Несмотря на то, что эти аппараты дороже паяных, они позволяют производить механическую чистку поверхности теплообмена от загрязнений и отложений, и практически восстанавливать проектные параметры эксплуатации. Некоторым ограничением при использовании разборных аппаратов по отношению к паяным, можно отнести рабочее давление теплоносителей до 1,6 МПа. Также при использовании разборных аппаратов в качестве испарителя и конденсатора в системе ТН следует помнить, что компоновка таких аппаратов должна содержать только одинаковые каналы и не допускает применение каналов различного гидравлического сопротивления. Кроме того, проектирование пластинчатых испарителей и конденсаторов предполагает, что компоновка аппарата имеет на один канал по холодной стороне больше, чем по горячей стороне. Это связано с уменьшением тепловых потерь в крайних каналах аппарата, и, в принципе, может не выполняться. Также пакет пластин может быть переконструирован путем удаления или добавления пластины во время чистки аппарата после отопительного периода. При выборе теплообменников ИТП, которые должны работать в отопительный период и в ТН, естественным образом имеют место две задачи: изначальное проектирование такой схемы перед строительством и модернизация теплового пункта путем установки теплового насоса. Последняя задача представляется более сложной так, как фактически каждое здание или группа зданий являются уникальными и требуют индивидуального проектирования, которое может включать в себя и изменение компоновки и мощности теплообменников.

Одной из значительных трудностей при подключении ТН для приготовления горячей воды, является достаточно высокие требования к ее температуре у потребителя $55\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Использование горячей воды с такой температурой, сопровождается ее смешиванием с холодной водопроводной водой для получения комфортной температуры. Исторически такая высокая температура принята по санитарным нормам и с целью обогрева санитарных помещений, за счет установленных полотенцесушителей, обогрева различных вспомогательных помещений и технических объемов зданий, не имеющих жилого назначения. Таким образом, главная функция высокой температуры реализуется в отопительный период. В межотопительный период обогрева перечисленных помещений не требуется и, следовательно, выходную температуру горячей воды целесообразно снизить до значений $40\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такое снижение конечной температуры горячей воды фактически означает, что холодная вода, которая подмешивается потребителем к горячей в отопительный период, должна быть подогрета до температуры горячей $\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ тепловым насосом. Только в таком случае будет реализовано значение максимального суточного расхода горячей воды.

Другой возможностью обеспечения расчетной температуры 55–60 °С может быть использование теплообменника 1-й ступени ГВС в качестве догревателя воды после ТН. Такая организация позволит уменьшить мощность теплового насоса, но при этом не будет полного отказа от централизованной сетевой воды. По всей видимости, в каждом конкретном случае может быть использована любая схемная реализация, которая обеспечивает бесперебойную работу системы ГВС и является экономически обоснованной.

Стабильная работа ТН в условиях суточной неравномерности потребления горячей воды в основном определяется стабильностью работы компрессора при отсутствии баков-аккумуляторов. Если аккумулирующие баки установлены, то они существенным образом сглаживают пиковую нагрузку ГВС, что обеспечивает достаточно постоянную нагрузку на тепловой насос. Бесшумность работы ТН в случае установки в подвальном помещении определяется бесшумностью работы компрессора и скоростью движения теплоносителей в трубопроводах. Эти факторы должны быть учтены при проектировании ТН корректным подбором оборудования.

Результаты и обсуждения. Рассмотрим, по всей видимости, самый распространенный тепловой пункт системы отопления и присоединения ГВС по двухступенчатой смешанной схеме с пластинчатыми разборными теплообменниками, рис. 1.

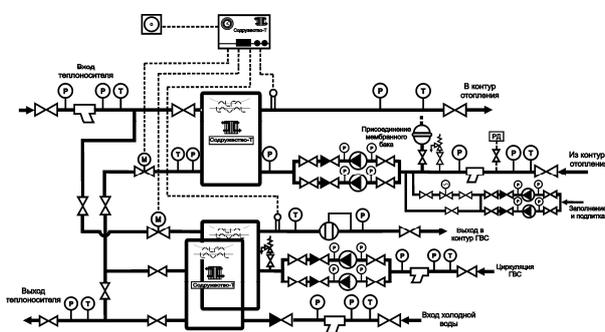


Рисунок 1 – Принципиальная схема модуля системы отопления и присоединения ГВС по двухступенчатой смешанной схеме

Приведем расчет такого модуля для следующих условий. Максимальная нагрузка системы отопления $Q_{\text{heat}} = 545,6$ кВт, максимальная нагрузка ГВС $Q_{\text{hws}} = 541,7$ кВт. Данные для расчета теплообменников системы отопления следующие. Входная температура сетевого теплоносителя – 130 °С, выходная – 76 °С; температура теплоносителя внутридомового контура входная 95 °С, выходная – 70 °С. Расходы теплоносителей (м³/ч): сетевого – 9,2, внутридомового – 19,2. Допустимые потери давления составляют: по сетевому теплоносителю – 20 кПа, по внутридомовому – 40 кПа. Данные для расчета теплообменников ГВС по двухступенчатой смешанной схеме присоединения к тепловой сети следующие. Входная температура сетевого теплоносителя – 70 °С, выходная – 30 °С; температура нагреваемой воды входная 5 °С, выходная – 60 °С. Расходы теплоносителей: сетевого – 8,0 м³/ч, максимальный расход горячей воды – 8,5 м³/ч. Допустимые потери давления: по сетевому теплоносителю – 50 кПа, по горячей воде – 30 кПа. При расчете теплообменников предусмотрен запас по коэффициенту теплопередачи не менее 30 %.

В результате расчетов, с учетом использования теплообменников в тепловом насосе [7], к установке были приняты теплообменники марки М6 производства «Альфа Лаваль», характеристика которых приведена в табл. 1. Суммарная стоимость теплообменника отопления и теплообменников ГВС составляет 39 % от полной стоимости всего теплового пункта с учетом транспортировки, монтажа и пуска.

Таблица 1 – Теплообменники марки М6 производства «Альфа Лаваль», принятые к установке

Позиция	Тепловая нагрузка, кВт	Площадь теплообменной поверхности, м ²	Компоновка
Отопление	545,6	8,7	1×29Н / 1×30Н
1-я ступень	346,6	9,3	1×31Н / 1×32Н
2-я ступень	195,1	5,1	1×17Н / 1×18Н

Суточный график нагрузки ГВС и расчет часовой нагрузки. Потребление горячей воды имеет ярко выраженную неравномерность по часам суток и дням недели. Типичное изменение расхода воды

$G_{HWS}^i / G_{HWS}^{\max}$ по часам суток в будний день приведено на рис. 2. Характерной особенностью графиков водопотребления является наличие общей закономерности изменения водоразбора по часам суток при резкой неравномерности в пределах суток. Имеется два максимума: утренний с 7 до 10 ч и вечерний с 18 до 23 ч. По данным [4,5] в отдельные часы вечернего максимума водоразбор может иногда быть выше среднего в рабочие дни в 2,2–2,4 раза, а в воскресенье – 2,6–2,8 раза.

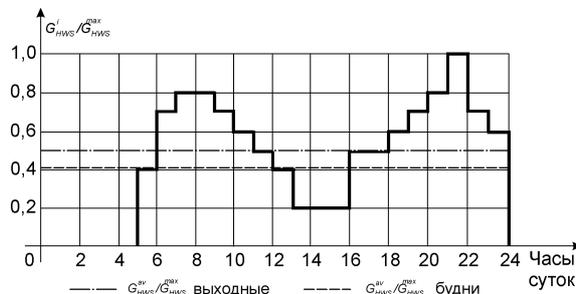


Рисунок 2 – Усредненный график изменения расхода воды в системе ГВС

Таблица 2 – Усредненные значения часового расхода

Параметр	Отношение часового расхода, $g_i = G_{HWS}^i / G_{HWS}^{\max}$						
	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
Расход G_{HWS}^i , м ³ /ч	1,7	3,4	4,25	5,1	5,95	6,8	8,5
Число часов в сутки, Δt_i	3	2	3	3	4	3	1

Таблица 3 – Суммарные потери давления в теплообменниках

Параметр	Отношение часового расхода, $g_i = G_{HWS}^i / G_{HWS}^{\max}$						
	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
Суммарные потери давления Δp_{HWS}^i , кПа	2,2	9,1	15,2	19,1	26,2	33,7	53,3
Отношение $\Delta p_{HWS}^i / \Delta p_{HWS}^{\max}$	0,04	0,2	0,3	0,4	0,5	0,65	1

В табл. 2 и 3 приведены усредненные значения часового расхода потребления горячей воды и суммарные потери давления при прокачивании нагреваемой и сетевой воды через теплообменники двухступенчатой схемы ГВС.

Средние значения коэффициентов суточной неравномерности принимаем: в рабочие дни 0,91, в выходные – 1,22 по отношению к среднему за неделю. Исследования, представленные в [6], показали, что наибольший расход горячей воды наблюдается в предпраздничные дни. Также будем считать, что в межотопительный период температура водопроводной воды на подогрев составляет в среднем $t_{w_in} = 15$ °С, температура отопительных приборов в помещении не может опускаться ниже $t_{in} = 20$ °С. Средняя стоимость одной ГКал тепла равна 750 грн., средняя стоимость 1 кВт·ч электроэнергии – 0,75 коп.

Общий суточный расход для представленного на рис. 2 потребления горячей воды составит $G_{HWS}^{day} = G_{HWS}^{\max} \cdot \sum_{i=1}^{24} g_i \cdot \Delta t_i \approx 10,9 \cdot G_{HWS}^{\max}$ для максимального расхода 8,5 м³/ч суточный расход тепла равен 4,169 Гкал, и суточная оплата за тепло на нагрев горячей воды составит $C_{net} = 3127$ грн/сут.

Другой статьей эксплуатационных расходов является стоимость электроэнергии на прокачивание холодного и горячего теплоносителей через теплообменники. Расчет этих затрат проводится по среднему значению расхода воды на ГВС $G_{HWS}^{av} = G_{HWS}^{day} / 19 = 4,88$ м³/ч и сетевой воды $G_{net}^{av} = G_{net}^{day} / 19 = 4,59$ м³/ч. Рассчитанные для среднего расхода потери давления в теплообменниках обеих ступеней составляют по сетевому теплоносителю $\Delta P_n = 8,7$ кПа и по нагреваемой воде $\Delta P_c = 9,4$ кПа. Тогда мощность, затрачиваемая на прокачивание теплоносителей через теплообменники, составит

$$Q_{pump} = (G_{HWS}^{av} \cdot \Delta P_c / \eta + G_{net}^{av} \cdot \Delta P_h / \eta) / 3,6 \approx 34,0 \text{ Вт},$$

где $\eta = 0,7$ – средний КПД установленных насосов. Средняя суточная стоимость электроэнергии на работу насосов составит $C_{pump} = Q_{pump} \cdot 19 \cdot 0,75 \cdot 10^{-3} \approx 0,485$ грн/сут. При расчетах не учитывалась стоимость водопроводной воды для подогрева.

Если принять, что межотопительный период составляет 180 дней, среди которых полностью летних дней 90. Примем, что в среднем число рабочих дней 65, выходных и праздничных – 25, тогда общие эксплуатационные расходы на работу системы ГВС за 3 месяца составят

$$C_{all_net} = (C_{net} + C_{pump}) \cdot 65 \cdot k_{hw} + (C_{net} + C_{pump}) \cdot 25 \cdot k_{hs} \approx 280\,373 \text{ грн},$$

где $k_{hw} = 0,91$ – средний коэффициент расхода в будние дни; $k_{hs} = 1,22$ – средний коэффициент увеличения расхода горячей воды в выходные и предпраздничные дни. Таким образом, средняя стоимость работы системы ГВС за 3 месяца межотопительного периода составит 280 373 грн. В расчетах предполагалось, что значение максимального расхода горячей воды в зимний и летний период одинаково. Хотя достаточно очевидно, что максимальный и средний расход в летний период будет ниже, за счет отпусков и проживания жителей дома за городом. Последнее обстоятельство играет немаловажную роль при выборе мощности теплового насоса.

Выбор хладагента. В качестве хладагента ТН предлагается использовать R600 или изобутан, который представляет собой природный газ, не разрушающий озоновый слой ($ODP = 0$) и не способствует образованию парникового эффекта ($HGWP = 0,001$). R600 в 2 раза тяжелее воздуха, масса хладагента, циркулирующего в холодильном агрегате или ТН, по сравнению с R134a или R12 меньше примерно на 30 %. R600 хорошо растворяется в масле и имеет более высокий, чем R12 холодильный коэффициент. При этом удельный объем холодопроизводительности R600 в два раза меньше, чем у R12, что компенсируется использованием более мощных компрессоров. Хладагент R600 работает с низким давлением. Главный недостаток – воспламеняется и взрывоопасен при соединении с воздухом при объемной доле хладагента 1,3–8,5% (нижняя граница взрывоопасности – 31 г/м^3 , верхняя – 205 г/м^3). В табл. 4 приведена зависимость температуры кипения R600 от давления.

Европейским международным стандартом Amendment 1 to EC 60335-2-24, Ed.4 разрешено использование горючих хладагентов (в том числе изобутана) в бытовых холодильниках. По итогам 2005 года около 10 % всех бытовых холодильников в мире и 35 % в Европе работало на R600.

Таблица 4 – Зависимость температуры кипения R600 от давления (приборное давление)

T, °C	0	10	20	30	40	50	60	70
P, бар	0,57	1,21	2,02	3,05	4,32	5,86	7,72	9,91

Конструктивное исполнение и функции теплообменников. Основным оборудованием ТН являются: испаритель, конденсатор, компрессор, система управления и редуцирующий узел. В качестве испарителя будем использовать теплообменник системы отопления, в качестве конденсатора – теплообменник 2-й ступени ГВС. Теплообменник 1-й ступени будет использоваться в качестве догревателя горячей воды, когда для нагрева большого расхода не хватает мощности ТН. Данные для расчета испарителя ТН принимались следующие: давление R600 на входе в испаритель 2,51–2,56 бар; температура внутримдомового контура на входе $t_{in} = 20$ °C, на выходе – от 21 °C до 26 °C; максимальный расход теплоносителя R600 – 1390 кг/ч, воды внутримдомового контура – $19,2 \text{ м}^3/\text{ч}$. Расчет конденсатора ТН производился для следующих данных: давление R600 на входе в конденсатор 11,0 бар; температура нагреваемой воды на входе 15 °C, на выходе – в зависимости от нагрузки.

Расчетная нагрузка на ГВС в летний период составляет $Q_{hws}^{max} = G_{hws}^{max} \cdot (60 - 15) / 3,6 = 444,8$ кВт, где плотность воды принята равной 1000 кг/м^3 . Нагрузка нагрева воды во внутримдомовом контуре (табл. 2) $Q_{bld} = G_{bld} \cdot 4,1868 \cdot (t_{out} - t_{in}) / 3,6$. Выходная температура горячей воды из конденсатора теплового насоса является функцией температуры нагрева воды в системе отопления в помещениях – t_{out} . Эта температура может быть рассчитана приблизительно по среднему значению расхода воды на ГВС $G_{HWS}^{av} = G_{HWS}^{day} / 19 = 4,88 \text{ м}^3/\text{ч}$ из соотношения $t_{out} = Q_{bld} / 4,1868 \cdot 3,6 / G_{HWS}^{av} + t_{w_in}$.

При этом возникает необходимость нагреть воду до значений температуры 55–60 °С. Это можно сделать с использованием сетевой централизованной воды в теплообменнике 1-й ступени ГВС, который используется как догреватель. Фактически, в такой комплектации ТН выполняет функции аналогичные использованию обратной воды из системы отопления для двухступенчатой смешанной схемы ГВС при ее работе в отопительный период.

Стоимость сетевой воды можно рассчитать, воспользовавшись соотношением

$$C_{net_hp} = 10,9 \cdot G_{HWS}^{max} \cdot (60 - t_{out}) \cdot 10^{-3} \cdot 750 \text{ грн/сут.}$$

Суммарные средние потери давления в теплообменниках, при их использовании в ТН, считаем постоянными и они составляют. В испарителе: по стороне хладагента – 41,4 кПа, по стороне воды – 10,0 кПа. В конденсаторе: по стороне хладагента – 0,6 кПа, по воде – 4,0 кПа. В догревателе: по сетевому теплоносителю – 0,5 кПа, по горячей воде – 1,0 кПа. Потеря давления во внутримдомовом контуре при прокачивании через него отопительной воды принимались равной 20 кПа. Стоимость электроэнергии на прокачивание холодного и горячего теплоносителей через теплообменники и внутримдомовую систему отопления

$$C_{pump_hp} = (G_{HWS}^{av} \cdot \Delta P_{c_hp} / \eta + G_{net}^{av} \cdot \Delta P_{h_hp} / \eta + G_{bild} \cdot \Delta P_{bild} / \eta) / 3,6 \cdot 0,75 \cdot 19 \cdot 10^{-3} \approx 3,7 \text{ грн/сут,}$$

где $\Delta P_{c_hp} = 42,5$ кПа – суммарные потери давления в теплообменниках по нагреваемой стороне; $\Delta P_{h_hp} = 15,0$ кПа – суммарные потери давления в теплообменниках по греющей стороне; $\Delta P_{bild} = 40$ кПа – потери давления при прокачивании теплоносителя через систему отопления здания. Общие эксплуатационные расходы на работу системы ГВС с тепловым насосом составят

$$C_{net_hp} = (C_{net_hp} + C_{pump_hp}) \cdot 65 \cdot k_{hw} + (C_{net_hp} + C_{pump_hp}) \cdot 25 \cdot k_{hs}, \text{ грн.}$$

Примем, что на выработку 1 Гкал теплоты в тепловом насосе расходуется 0,33 МВт·ч электроэнергии (на привод компрессора). Тогда общая стоимость работы компрессора при условии, что его нагрузка составляет Q_{bild} в течение 19 часов 90 дней в году $C_{com} = Q_{bild} \cdot 19 \cdot 90 \cdot 750 \cdot 0,33 / 1163$ грн. Эксплуатация теплового насоса с использованием теплообменников двухступенчатой смешанной схемы ГВС, в течение 3 месяцев, дает экономию денежных средств в межотопительный период $\Delta C = C_{net} - C_{net_hp} - C_{com}$. Зависимость ΔC от температуры воды, выходящей из системы отопления, представлен на рис. 3.

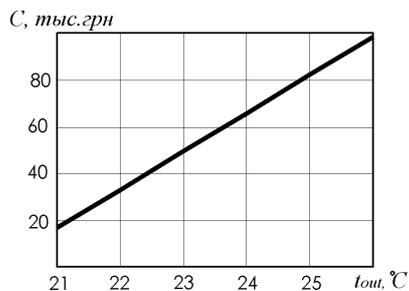


Рисунок 3 – Зависимость разности эксплуатационной стоимости работы системы ГВС без ТН и с использованием ТН от температуры воды отопительного контура

Из графика видно, что уже при нагреве воды отопительного контура до 22 °С экономия может достигать около 33 тыс. грн. за три летних месяца. При этом не учитывалось:

- потери тепла при транспортировке и работе всего оборудования;
- снижение среднесуточного расхода горячей воды в летний период;
- повышение температуры нагреваемой воды в летний период выше 15 °С за счет уменьшения остывания и циркуляции;
- расходы на подпиточную воду в системе отопления;
- экономия средств за счет меньшего потребления электроэнергии на охлаждение помещений.

Экономия достигается за счет меньшего потребления централизованной сетевой воды и централизованного охлаждения помещений. Никаких дополнительных требований к модернизации за счет выделения дополнительных площадей, насосного и регулирующего оборудования не предъявляется.

Заключення. Рассмотрена возможность применения теплового насоса в системе ГВС жилого многоэтажного дома с использованием системы отопления здания в качестве источника тепла в межотопительный период. Показано, что встраивание ТН в имеющийся тепловой модуль системы отопления и ГВС с присоединением по двухступенчатой смешанной схеме использованием имеющихся пластинчатых теплообменников, может дать среднюю годовую экономию до 100 тыс. грн.

Потенциал рынка составляют практически все подключенные к системе централизованного теплоснабжения жилые здания, тепловые пункты которых подключены по двухступенчатой смешанной схеме ГВС. Климатические условия для такой модернизации достаточно широкие и включают в себя жилые здания практически всей Европы. Основное потребление электроэнергии приходится на дневное время, когда ее стоимость достаточно высока. Поэтому перспективным направлением развития предложенного подхода к использованию ТН в системе ГВС является применение в такой схеме баков-аккумуляторов горячей воды, которые заряжаются в ночное время.

Работа выполнена при поддержке Европейской Комиссии seventh Programmed managed by REA- Research Executive Agency <http://ec.europa/rea> (FP7/2007-2013) under Grant agreement PIRSES-GA-2011-294933 (DISKNET project).

Литература

1. Жидович И.С. Системный подход к оценке эффективности тепловых насосов / И.С. Жидович, В.И. Трутаев // Новости теплоснабжения, 2001.– №11.– С.44–49.
2. Смирнова Е.Г. Теплотехнический анализ совместной работы существующих систем отопления и тепловых насосов / Е.Г. Смирнова, Л.М. Тростенецкий // Пром. теплотехника, 1998.– т.20.– №3.– С.38–41.
3. Энергосбережение в зданиях / Спец. выпуск, посвященный возможностям применения тепловых насосов. – Киев, 1997.– №4.
4. Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения / [Н.Н.Чистяков, М.М. Грудзинский, В.И. Ливчак и др.] – М.: Стройиздат, 1988.– 314 с.
5. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч.2. Водоснабжение и канализация / [В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов, А.Н. Сканави и др.]; Под ред. И.Г. Староверова и Ю.И. Шиллера.– М.: Стройиздат, 1990. – 405 с.
6. Павлов И.И. Котельные установки и тепловые сети / И.И. Павлов, М.Н. Федоров – М.: Стройиздат, 1986.– 232 с.
7. Arsenyeva O. Optimal design of plate-and-frame heat exchangers for efficient heat recovery in process industries / O. Arsenyeva, L. Tovazhnyansky, P. Kapustenko, G. Khavin // Energy, 2011.– 36.– P. 4588–4598.

Bibliography (transliterated)

1. Zhidovich I.S. Sistemnyj podhod k ocenke jeffektivnosti teplovyh nasosov I.S. Zhidovich, V.I. Trutaev Novosti teplosnabzhenija, 2001.– #11.– p.44–49.
2. Smirnova E.G. Teplotehnicheskij analiz sovmestnoj raboty sushhestvujushhijh sistem otopenija i teplovyh nasosov E.G. Smirnova, L.M. Trosteneckij Prom. teplotehnika, 1998.– t.20.– #3.– p.38–41.
3. Jenergosberezhenie v zdaniyah Spec. vypusk, posvjashennyj vozmozhnostjam primenenija teplovyh nasosov. – Kiev, 1997.– #4.
4. Povyshenie jeffektivnosti raboty sistem gorjachego vodosnabzhenija [N.N.Chistjakov, M.M. Grud-zinskij, V.I. Livchak i dr.] – M.: Strojizdat, 1988.– 314 p.
5. Vnutrennie sanitarno-tehnicheskie ustrojstva. V 3 ch. Ch.2. Vodosnabzhenie i kanalizacija [V.N. Bogoslovskij, B.A. Krupnov, A.N. Skanavi i dr.]; Pod red. I.G. Staroverova i Ju.I. Shillera.– M.: Strojizdat, 1990. – 405 p.
6. Pavlov I.I. Kotel'nye ustanovki i teplovye seti I.I. Pavlov, M.N. Fedorov – M.: Strojizdat, 1986.– 232 p.
7. Arsenyeva O. Optimal design of plate-and-frame heat exchangers for efficient heat recovery in process industries O. Arsenyeva, L. Tovazhnyansky, P. Kapustenko, G. Khavin Energy, 2011.– 36.– P. 4588–4598.

УДК 644.62+621.577

Товажнянський Л.Л., Бабак Т.Г., Дуїч Н., Краячич Г., Хавін Г.Л.

МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ЯК ДЖЕРЕЛА ТЕПЛА ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ПОМПИ СИСТЕМИ ГВП У МІЖОПАЛЮВАЛЬНИЙ ПЕРІОД

Розглянуто задачу модернізації теплового пункту (ТП) опалення з двохступеневою змішаною схемою приєднання системи гарячого водопостачання у міжопалювальний період. Як джерело тепла теплового насосу (ТН) використовується опалювальна вода внутрішнього контуру системи опалювання. У літній період можливе централізоване охолодження помешкань за допомогою квартирних опалювальних пристроїв. Для роботи у системі ТН обрано хладагент R600, як екологічно безпечний та такий, що має низький тиск випаровування та конденсації. Проведено економічний розрахунок роботи ТП у міжопалювальний період з ТН та без нього.

Tovazhnyansky L., Babak T., Duic N., Kraycic G., Khavin G.

**THE ABILITY TO USE THE HEATING SYSTEM AS SOURCE OF HEAT PUMP
FOR THE HOT WATER SUPPLY IN INTERHEATING PERIOD**

The problem of modernization of the heating module (HM) with two-stage mixing scheme of the hot water supply by installing a heat pump (HP) meant for to work in interheating period. As a heat source is used water of the heating system of the building. During the summer, perhaps district cooling facilities in apartment heaters. The refrigerant R600 is selected as most environmentally friendly and low-pressure evaporation and condensation. An economic calculation is made for HM working with HP and without HP.

Капустенко П.А., Илюнин О.О., Болдырев С.А., Гарев А.О., Лещенко Е.В., Перевертайленко А.Ю.,
Селяков А.М., Шамраев А.А.

КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ С УЧЕТОМ ГРУППОВОГО ВЛИЯНИЯ АРГУМЕНТОВ

Введение. Украинские системы центрального отопления потребляют большое количество минерального топлива. Это приводит к высокому уровню выбросов углекислого газа, приводит к отрицательному воздействию на окружающую среду и негативно влияет на экономические показатели. Но районы концентрации промышленных предприятий имеют альтернативу – использование низкопотенциальных источников тепла (НИТ), а именно сбросных вод. И при интеграции теплового насоса (ТН) в отопительные системы предприятий уровни выбросов и экономические показатели могут существенно улучшиться. Методы утилизации низкопотенциального тепла известны и хорошо описаны в литературе [1]. Как правило, топологию схемы интеграции ТН в существующие отопительные системы предприятий определяют на предварительном этапе проекта по критерию минимума капитальных затрат. Синтез технических систем сложной структуры, к которым относится ТН, приводит к необходимости решения оптимизационных задач, которые также называют многокритериальными. Задача из общей задачи схемно-параметрической оптимизации сложной технической системы (СТС) сводится к задаче оптимизации параметров – из имеющихся в серийном выпуске агрегатов, компонентов, элементов, изделий скомпоновать ТН, эффективный, в определенном смысле, при заданных ограничениях.

ТН, как технический объект характеризуется принципом действия, заданной структурой, и множеством связанных нелинейно параметров, характеризующих процесс его функционирования. Задача поиска оптимальных параметров ТН при проектировании относится к задачам параметрической оптимизации. При их решении используют формализованные показатели — количественные оценки, которые также называют критериями оптимизации, или эффективности объекта [2]. Особенность, характерная как для векторных, так и для скалярных нелинейных задач – многоэкстремальность. Практическая значимость этой особенности заключается в том, что в решении многих прикладных проблем недостаточно отыскания некоторого локального решения, ибо, с одной стороны, глобальное решение может быть существенно эффективнее локального (на 35 % и более) а, с другой стороны, в ряде приложений искомые величины определяются только глобальным решением (например, при использовании принципа наилучшего гарантированного результата). Данное обстоятельство определяет прикладной интерес к решению многоэкстремальных задач оптимизации. Вместе с тем ряд важнейших вопросов, в частности, вопрос локализации экстремумов, далеки от разрешения. Указанные факторы определяют необходимость и актуальность исследования многокритериальных нелинейных оптимизационных задач и разработки практически приемлемых методов их решения.

Постановка задачи. Оценка эффективности требуется для самых разнообразных систем и процессов, показатель эффективности должен связывать между собой базовые показатели, которые являются общими для любой системы, процесса. Это означает, что в общем случае показатель эффективности является междисциплинарным. При замене оценок стоимостными показателями, показатель эффективности превращается в инструмент оценивания экономических операций. Учитывая огромное разнообразие номенклатуры комплектации, информационную доступность к техническим характеристикам, необходимо применение процедур ускоренного поиска удовлетворительных вариантов решения. Это приводит к требованию синтеза критериев, агрегирующих в себе все требования и цели технической системы.

Целью работы является разработка критерия оценки эффективности ТН, учитывающего нелинейность связей параметров системы. Это может выглядеть как двухэтапная процедура [3]:

- на первом этапе «При заданных исходных данных (ИД) подобрать множество N эффективных ТН»;
- на втором этапе «Из N эффективных ТН выбрать наилучшее решение».

Исходные данные для анализа и решения задачи являются характеристики НИТ, температурный график $T_{11}/T_{21}(T_1)$ и нагрузка потребления: $\langle V_{src}, T_{src}, Q_{ab}, T_{11}, T_{21}, T_1 \rangle$.

В частности, ОАО «Запорожский железорудный комбинат» постоянно откачивает шахтные воды в объеме $V_{src} = 2000$ куб.м/час с температурой $T_{src} \approx 22$ °С при существующей потребности $Q_{ab} = 4,167$ Гкал/час. Как оптимальная [4] была принята бивалентная параллельная схема интеграции компрессорного ТН типа «вода-вода» в существующую теплотель предприятия для выработки тепла на обогрев стволов шахт (рис. 1).

Формализация описания. Комплексную тепловую установку КТУ (рис.1) после декомпозиции на установки, агрегаты, узлы, компоненты (подклассы), можно формально описать как объект, или класс объ-

ектов в виде декартова произведения, формирующего множество реализуемых решений $R^i(U)$, где $i = \text{card}(HG) \cdot \text{card}(NP) \cdot \text{card}(HP)$ – число всех технически возможных реализаций установки, где HG – теплогенератор, NP – сетевой насос, HP – тепловой насос. Мощности множеств всех технически возможных реализаций сетевых и тепловых насосов примем как $\text{card}(NP) = p$ и $\text{card}(HP) = h$ соответственно. В КТУ реализован пиковый теплогенератор, следовательно, $\text{card}(HG) = g = 1$.

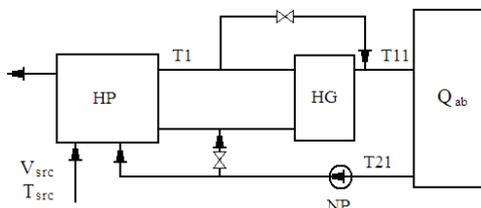


Рисунок 1 – Интеграция ТН в тепловую сеть по бивалентной параллельной схеме

С определенной глубиной формализации ТН, как объект или класс объектов, точно также можно представить в виде множества реализаций решений или записей полей базы данных, структура которых формируются на основе кортежей вида:

$HP: \langle \text{Compressor}, \text{Evaporator}, \text{Condenser}, \dots, \text{Refr}; V_{\text{ref}}, Q_{\text{ab}}, \dots, T_{11}, T_{21}, T_1, \text{COP}, \text{CC}, \text{OC} \rangle$, где переменные $V_{\text{ref}}, Q_{\text{ab}}, \dots, T_{11}, T_{21}, T_1$, представляют собой конкретные числовые ограничения, $\text{COP}, \text{CC}, \text{OC}$ – числовые значения, а переменные $\text{Compressor}, \text{Evaporator}, \text{Condenser}, \dots, \text{Refr}$ являются лингвистическими, как например, $\text{Evaporator} = \text{NB14-20 Alfa Laval}, \text{Refr} = \text{R136a}$.

При более глубокой детализации модели каждый терм-элемент кортежа можно представить в виде записи следующей структуры:

- $\text{Compressor} = \langle T_1 = f_1(\text{Refr}, V_{\text{ref}}, T_{\text{src}}, \Delta P_{\text{cp}}, Q_{\text{ab}}), \dots, \text{COP} = f_{k-1}(N(\Delta P_{\text{cp}}), T_1), \text{OC}_{\text{HP}} = f_k(\text{COP}, N(P_{\text{cp}})), \text{CC}_{\text{HP}} \rangle$,
- $NP = \langle G = y_1(Q_{\text{ab}}, T_{11}, T_{21}), \dots, \text{OC}_{\text{NP}} = y_m(G, N(H_{\text{pump}}), \Delta P), \text{CC}_{\text{NP}} \rangle$, где:
- Refr – тип хладагента,
- V_{ref} – объем хладагента,
- ΔP_{cp} – необходимый перепад давления для компрессии хладагента,
- $N(P_{\text{cp}})$ – потребляемая электрическая мощность компрессора,
- COP коэффициент преобразования расхода электроэнергии на производство тепловой энергии (компрессию рабочего тела ТН),
- G – массовый расход в тепловой сети,
- $N(H_{\text{pump}})$ – потребляемая электрическая мощность сетевого насоса,
- H_{pump} – необходимый напор,
- ΔP – перепад давления в тепловой сети,
- CC, OC – соответственно капитальные и эксплуатационные затраты.

Все элементы записей связаны между собой расчетными методами $\{ f_k \}, \dots, \{ y_m \}$, характеризующими физические зависимости между элементами ТН в виде формул, систем уравнений, и т.д. Эти методы реализованы в виде программных приложений, разработанных проектировщиками либо предоставленных производителями.

В силу того, что множество технически реализуемых агрегатов, узлов и т.д. (экземпляров подклассов) конечно, конечно и множество реализуемых решений $\text{card}(R_L(U)) = g \cdot h \cdot p = L$, создание скоростной процедуры сужения области поиска $R_L(U)$ реализуемых решений до N -экземпляров, т.е. исключения неудовлетворительных альтернатив.

Проектирование ТН можно формально представить как процесс сужения множества альтернатив решений на основе информации, которой располагает лицо принимающее решение, проектировщик. Рациональный выбор альтернатив можно разбить на следующие этапы: 1) ситуационный анализ; 2) идентификация проблемы и постановка цели; 3) поиск необходимой информации; 4) формирование и формализация представления альтернатив; 5) формирование или коррекция критериев для оценки альтернатив; 6) проведение оценки; 7) выбор лучшей альтернативы; 8) оценка результата.

Этот процесс повторяется в цикле пока не будет достигнуто эффективное, удовлетворяющее проектировщика ТН решение.

Методология. Авторами предложен классический путь сведения векторной задачи к однокритериальной, на основе свертывания векторного критерия в модифицированную каноническую аддитивно-мультипликативную (АМ) функцию эффективности. При этом необходимо упорядочение критериев по важности, а также выбор веса каждого фактора. Подход в своей основе неформален: назначение количества и типов критериев осуществляется экспертами, что придает им эвристический характер.

Для перехода к скалярному представлению целевой функции экономической эффективности формально представим i -й экземпляр решения в виде: $CHU_i = \langle \text{Compressor}_i, CC_{cp}^i, \text{Evaporator}_i, CC_{ev}^i, \dots, \text{NetPump}_i, CC_{NP}^i, \text{HG}_i, CC_{HG}^i, \text{COP}_i, OO_i^{SUM} \rangle$, где CC_i – капитальные затраты (цены) соответствующих узлов, а OO_i^{SUM} – суммарные эксплуатационные расходы i -го экземпляра. Исключив нечисловые поля записи, получаем $CHU_i^s = \langle CC_{cp}^i, CC_{ev}^i, \dots, CC_{NP}^i, CC_{HG}^i, \text{COP}_i, OO_i^{SUM} \rangle$ и переходим к скалярной форме представления функции эффективности:

$$C_i = \sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot c_j, \tag{1}$$

где λ_j – весовой коэффициент влияния j -го фактора (агрегата, узла) на эффективность системы в целом, c_j – стоимостное его выражение (CC_j) для экземпляра CHU_i .

КТУ содержит большое количество факторов, эксперту трудно определить, какой именно из них имеет наиболее весомое влияние на всю систему, а именно с этого начинается анализ системы для синтеза критерия оценки достижения желаемого решения. При решении задачи факторы ранжируют по значимости методом попарного сравнения, который дает максимум объективности при формировании ряда предпочтений [3]. Далее для перехода от бинарного представления предпочтений к скалярному, формируется матрица количественных оценок e_{ij} ; каждый эксперт E_i оценивает в баллах вес важности фактора c_j .

Нормируя оценки методом средних арифметических рангов получим весовые коэффициенты λ_j влияния факторов c_j (таблица 1):

Таблица 1 – Весовые коэффициенты влияния факторов

Эксперт №	Фактор (c_1)	Фактор (c_2)	Фактор (c_j)	Фактор (c_m)	Σ
E_i	e_{i1}	e_{i2}	e_{ij}	e_{im}	
E_n	e_{n1}	e_{n2}	e_{nj}	e_{nm}	
$\lambda_i, i=1, \dots, m$	$\lambda_1 = \sum_{i=1}^n e_{i1} / S$	$\lambda_2 = \sum_{i=1}^n e_{i2} / S$	$\lambda_j = \sum_{i=1}^n e_{ij} / S$	$\lambda_m = \sum_{i=1}^n e_{im} / S$	$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m e_{ij}$

где e_{ij} – оценка веса важности фактора c_j экспертом E_i по бальной шкале; λ_j – вес важности фактора c_j в критерии эффективности.

Введя дополнительные ограничения по ОС и СС применим к множеству реализуемых решений $R^{pxh}(U)$ модификацию АМ [5] вида:

$$C_{AMm} = a \cdot \sum_{j=1}^m \lambda_j c_j + b \cdot \prod_{j=1}^m c_j^{\lambda_j} + c \cdot \prod_{j=1}^m c_j^{(1/\lambda_j)}; \tag{2}$$

$$a + b + c = 1, \lambda_j \neq 0, \forall j = 1, m,$$

где a, b, c – дополнительные коэффициенты, учитывающие значимость факторов: a – основных (значимых), b – дополнительных, c – информативных (незначимых). Представленный критерий C_{AMm} смягчает каноническую форму C_{AM} за счет добавления третьего члена, учитывающего веса незначимых λ_j факторов обратными степенями, и увеличивает множество решений $\text{card}(R_K(U))$ по сравнению с C_{AM} ($K < L$).

Предложен более четкий критерий с кластеризацией факторов по значимости учитывающий их групповое попарное взаимное влияние. Из множества $\{q^m\}$ факторов, определяющих систему, выделим группу факторов q^{lm} , которые необходимы и достаточны для построения критерия и наглядного сравнения альтернатив решений с реальными процессами (объектами). Как правило, хватает небольшого количества учитываемых факторов $|q^{lm}| = 5 \div 7$. Остальные факторы q^{Ad} и q^{Ins} , будем считать дополнительными, повышающими адекватность модели реальному процессу и незначимыми, использование которых повышает чувствительность и полноту синтезируемого критерия для оценки альтернативы (экземпляра реальной системы):

$$C_{AMc} = \sum_{j=1}^{q^{lm}} \lambda_j^{lm} c_j + \prod_{j=q^{lm}-q^{lm+1}}^{q^{Ad}} c_j^{\lambda_j^{Ad}} + \prod_{j=q^{lm}-q^{lm}-q^{Ad}+1}^{q^{Ins}} c_j^{(1/\lambda_j^{Ins})}; \tag{3}$$

$$q^{lm} + q^{Ad} + q^{Ins} = q^m, \lambda_j \neq 0, \forall j = 1, m.$$

В результате применения критерия получим подмножество $R_L(U)$ – усеченное множество альтернатив $R_K(U)$, $\text{card}(R_K(U)) = N$.

В случае близких, «неразличимых» результатов и невозможности сделать единственное решение, переходят ко 2-му этапу поиска со сменой критерия на более емкий, например полином Колмогорова-Габора (ПКГ) второй степени [6], степень учитывает попарное влияние факторов друг на друга в технической системе:

$$C_{K-G} = \sum_{j=1}^m \lambda_j c_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} \cdot c_i \cdot c_j, \quad (4)$$

где канонически $\lambda_{ij} = \lambda_i \cdot \lambda_j$, что не учитывает природы оценки C_{K-G} весовыми коэффициентами, полученными ранжированием и попарными сравнениями.

Метод группового учета перекрестного влияния [6] позволяет выявить группы факторов, которые имеют одновременное влияние на техническую систему, и помогает уменьшить область возможных вариантов решения. Для определения λ_{ij} – веса влияния фактора c_i на c_j в системе, с помощью L-экспертов составим L матрицу $E = \| e_{ij} \|$, где на пересечении соответствующих строк и столбцов помещается – e_{ij} оценка влияния в критерии эффективности c_i на c_j , $e_{ij} = F(c_i, c_j) = [0, 1]$.

После этого для всех e_{ij} применяем процедуру геометрического среднего на L-оценках экспертов:

$$\bar{e}_{ij} = \left(\prod_{l=1}^L e_{ijl} \right)^{1/L} \quad (5)$$

где ω_l – это реальное число, которое определяет ранг l-го эксперта в работе группы экспертов. Используя полученные матрицы мы можем изменить ПКГ следующую форму:

$$C_{PKGm} = \sum_{j=1}^m \lambda_j c_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j \neq i=1}^m \hat{e}_{ij} \cdot \lambda_i \cdot \lambda_j \cdot c_i \cdot c_j. \quad (6)$$

В таблице 2 для нашего примера ОАО «ЗЖРК» представлены весовые коэффициенты значимости факторов λ_j и весовые коэффициенты \hat{e}_{ij} перекрестного влияния факторов, полученные с помощью экспертных процедур методом анализа иерархий. [7]

Таблица 2 – Весовые коэффициенты значимости факторов перекрестного влияния

J	Факторы	λ_j	Индекс	T1	COP	α_{refr}	N_{cp}	ρ^{-1}_{refr}	ΔP_{cp}	T_{src}	CC	OC
1	T1, °C	0,710	Im	1	0,6	0,2	0,81	0,87	0,91	0,3	1	0,7
2	COP	0,426	Im	0,6	1	0,2	0,87	0,7	0,95	0,4	0,9	0,85
3	α_{refr} , BT/(M ² ·°C)	0,142	Im	0,3	0,2	1	0,5	0,2	0,1	0,3	0,9	0,9
4	N_{cp} , кВт	0,575	Im	0,9	1	0,5	1	0,4	0,4	0,7	0,9	0,9
5	ρ^{-1}_{refr} , M ³ /кг	0,618	Im	0,9	0,5	0,2	0,4	1	0,45	0,8	0,5	0,7
6	ΔP_{cp} , Па	0,646	Im	0,9	0,2	0,1	0,85	0,6	1	0,8	0,6	0,7
7	T_{src} , °C	0,213	Add	0,3	0,1	0,4	0,7	0,8	0,8	1	0,5	0,6
8	CC, евро	0,400	Ins	1	0,92	0,2	0,9	0,2	0,9	0,9	1	0,9
9	OC, евро/год	0,710	Add	0,3	0,2	0,8	0,2	0,2	0,6	0,8	1	1

Таблица 3 – Факторы и их стоимостные проекции

C(Факторы)	C(T1), евро	C(COP) евро	C(α_{refr}), евро	C(N_{cp}), евро	C(ρ^{-1}_{refr}), евро	C(ΔP_{cp}), евро	C(T_{src}) евро	CC, евро	OC, евро
A	77,220	154,440	51,480	208,400	223,400	233,640	428,800	991,800	254,206
B	75,210	125,430	58,480	185,560	195,490	189,430	64,560	894,150	401,140

Два решения, (A) Viessmann AG Vitocal 300G pro-3 и (B) Hotjet cz s.r.o. RZ1-50, как отвечающие ограничениям и ИСД, после 1-го этапа процедуры поиска были предложены на рассмотрение Технического Совета ОАО «Запорожский ЗРК». Был проведен анализ структуры цены, и оценена стоимость оборудования функциональных групп. Методом анализа иерархий было построено отношение «стоимость узла ТН = С (Фактор)».

Выводы. Результаты тестирования показали, что критерии C_{ADD} практически не делает различий между альтернативами, критерий C_{AMc} более чувствителен и обладает более высокой скоростью по сравне-

нию с основным САМм. Критерии C_{PKGm} и C_{PKG} из-за громоздкости попадают в один и тот же класс точности и скорости поиска. Подход кластеризации факторов, предложенный для синтеза критерия C_{AMc} , при определенном уровне абстрагирования может быть использован для оценки эффективности больших систем, а также для оценки адекватности математической модели реальной системе.

Таблица 4 – Результаты тестирования критериев

№	Критерий	Значение	
		А	В
1	C_{ADD}	1123,340	1121,239
2	C_{AMm}	5,943965592E+46	6,047025545E+47
3	C_{AMc}	7,833768742E+47	5,404751161E+48
4	C_{PKG}	1,263016141E+06	1,258297506E+06
5	C_{PKGm}	6,415098850E+05	6,157804141E+05

Литература

1. Klemeš J, Perry S.J. Process optimisation to minimise energy use in food processing. In: Waldron K, editor. Handbook of waste management and co-product recovery in food processing, vol. 1. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited Wiefried.
2. Хорошев А.Н. Введение в автоматизированное проектирование механических систем. Белгород, 1999.372 с., ISBN5-217-00016-3.
3. Saaty T.L., Vargas L.G., and R.E. Wendell. Assessing attribute weights by ratio. OMEGA, 11(1):p. 9–13, 1983.
4. Товажнянський Л.Л., Бухкало С.И., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение– Харьков: НТУ «ХПИ», 2005– 460 с. ISBN 966-593-364-7.
5. Соболева Е.В. Исследование критериев обобщенной полезности для задач многокритериального оценивания. SAIT 2012, ISBN 978-966-2748-07-9, revision 1.1 (2012.04.24), available at <www.sait.kpi.ua/books>, accessed (2012.12.05).
6. Ivakhnenko A.G., Madala H.R. Inductive learning algorithms for complex systems modeling.– London, Tokyo: CRC Press, p. 352, 1994.
7. Недашковская Н.И. Многокритериальное принятие решений с использованием максиминного синтеза в методе анализа иерархий // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2010. – №3. – с. 7–16.

Bibliography (transliterated)

1. Klemeš J, Perry S.J. Process optimisation to minimise energy use in food processing. In: Waldron K, editor. Handbook of waste management and co-product recovery in food processing, vol. 1. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited Wiefried.
2. Horoshev A.N. Vvedenie v avtomatizirovannoe proektirovanie mehanicheskikh sistem. Belgorod, 1999.372 p., ISBN5-217-00016-3.
3. Saaty T.L., Vargas L.G., and R.E. Wendell. Assessing attribute weights by ratio. OMEGA, 11(1):p. 9–13, 1983.
4. Tovazhnjanskij L.L., Buhkalo S.I., Kapustenko P.A., Havin G.L. Osnovnye tehnologii pishhevyyh proizvodstv i jenergosberezhenie– Har'kov: NTU «HPI», 2005– 460 p. ISBN 966-593-364-7.
5. Soboleva E.V. Issledovanie kriteriev obobshhennoj poleznosti dlja zadach mnogokriterial'nogo ocenivaniya. SAIT 2012, ISBN 978-966-2748-07-9, revision 1.1 (2012.04.24), available at <www.sait.kpi.ua/books>, accessed (2012.12.05).
6. Ivakhnenko A.G., Madala H.R. Inductive learning algorithms for complex systems modeling.– London, Tokyo: CRC Press, p. 352, 1994.
7. Nedashkovskaja N.I. Mnogokriterial'noe prinjatie reshenij s ispol'zovaniem maksimal'nogo sinteza v metode analiza ierarhij Sistemni doslidzhennja ta informacijni tehnologii. – 2010. – #3. – p. 7–16.

УДК 661.25.66.094

Капустенко П.О., Ілюнін О.О., Болдырев С.О., Гарев А.О., Лешенко О.В., Перевертайленко О.Ю.,
Селяков О.М., Шамраєв А.А.

**КРИТЕРІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ З УРАХУВАННЯМ ГРУПОВОГО ВПЛИВУ
АРГУМЕНТІВ**

Наведено методику оцінки повноти обліку факторів при синтезі критерію економічної ефективності теплових насосів. Запропоновано підхід перехресного аналізу і кластеризації факторів, що різним чином впливають на ефективність технічних систем. Зазначено, що запропонований підхід підвищує чутливість критеріїв і придатний для оцінки адекватності математичних моделей об'єктів.

Kapustenko P.O., Ilunin O.O., Boldyryev S.O., Garev A.O., Leshchenko O.V., Perevertaylenko O.Yu.,
Selyakov O.M., Shamraev A.A.

**THE CRITERION OF EFFICIENCY OF HEAT PUMPS WITH A VIEW OF GROUP INFLUENCE OF
THE ARGUMENTS**

The method of accounting factors in completeness evaluation for the synthesis of the economic efficiency criterion of heat pumps is considered. An approach of a cross-analysis and the factors influencing to the effectiveness of the technical systems clustering is proposed. It was noted that the proposed method increases the sensitivity criteria and is suitable for the assessment of the mathematical objects models' adequacy.

ПИНЧ-ИНТЕГРАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ПРОЦЕСС ОЧИСТКИ ТЕТРАХЛОРИДА ТИТАНА

Введение. Титан – это сравнительно молодой конструкционный металл. Об этом говорит тот факт, что ни в одном событии Второй Мировой войны титан не сыграл какой-нибудь роли [1]. Поэтому его производство совершенствуется до сих пор, но все еще остается достаточно дорогим [2]. Производственные мощности для изготовления титана в Украине практически не изменились со времен Советского Союза и являются энергозатратными [3].

Большая сложность и затратность производства титана определяют экономическую специфику титановой металлургии. Добывающие активы играют здесь мизерную роль, почти вся добавленная стоимость формируется на заводах [4]. В некоторых исследованиях, проводимых в индустриально развитых странах, предлагается значительное упрощение технологии титана, но пока это только проекты будущего [5].

Снижение себестоимости производства титана возможно за счет уменьшения энергетических издержек. Это требует проведение теплоэнергетической интеграции процессов, происходящих на всех стадиях производства титана. Одной из самых затратных стадий производства металлического титана являются процессы получения и очистки тетрахлорида титана $TiCl_4$ [2].

В работе [6] авторами был сделан краткий обзор методов очистки тетрахлорида титана, а в работе [7] определены технологические потоки, которые могут быть использованы в пинч-анализе процесса. В работах [8, 9] был определен потенциал энергосбережения, доступный для классических методов пинч-анализа. В работах [10, 11] была выполнена теплоэнергетическая интеграция процесса очистки тетрахлорида титана методом ректификации с помощью классического пинч-проектирования. В указанных работах также приведена и детально описана технологическая схема очистки тетрахлорида титана с одновременным получением триоксидтрихлорида ванадия методом ректификации.

Здесь же приведена интегрированная схема очистки $TiCl_4$ (рис. 1) (описание схемы в [10, 11]) и с помощью составных кривых показано, что в данной схеме достигаются целевые энергетические значения, полученные с помощью методов пинч-анализа.

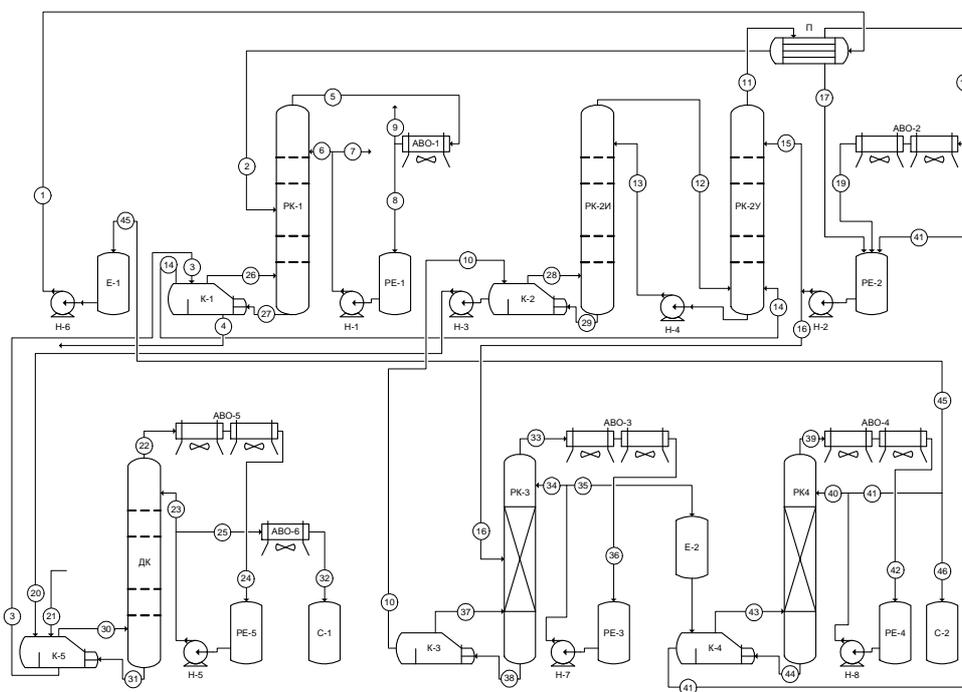


Рисунок 1 – Существующая принципиальная энерготехнологическая схема процесса очистки тетрахлорида титана. E-1,2 – емкость; C-1,2 – сборник; H-1-8 – насос; K-1-5 – электрический подогреватель куба; PK-1,3,4 – ректификационная колонна; ДК – дистилляционная колонна; PK-2И, PK-2У – ректификационные колонны – исчерпывающая и укрепляющая (разрезная колонна); П – теплообменник; АВО-1-5 – аппарат воздушного охлаждения; PE-1-5 – рефлюксная емкость

Основное энергопотребление в процессе происходит в кубах ректификационных колонн, которые обогреваются омическим теплом.

Для снижения энергопотребления в процессах ректификации используются технологические схемы аналогичные схемам тепловых насосов (ТН). В работе [12] рассмотрено одностадийное и двухстадийное компремирование верхнего погона колонны, показана экономическая эффективность данных схем при разделении углеводородных газов.

В работах [13–17] авторами выполнено сравнение различных технологических схем интеграции ТН с ректификационной колонной. Рассмотрено компремирование рабочего тела в замкнутом цикле. Изучены схемы с компремированием верхнего погона и нижнего продукта колонны. Также определена эффективность интеграции абсорбционных ТН с ректификационной колонной. Проведено сравнение интеграции ТН различных типов. Исследуется также эксергетическая эффективность различных типов интеграции ТН и ректификационной колонны. Рассмотрена эффективность в зависимости от параметров процесса: давление в колонне, тепловая нагрузка и т.д. Все примеры рассмотрены для разделения углеводородных газов. Сделан вывод, что лучшая интеграция в каждом конкретном случае должна быть выбрана с помощью методов пинч-анализа.

В работе [18] исследуется энерго- и эксергоэффективность теплового насоса с компремированием паров верхнего погона колонны при отделении бензола от смеси углеводородов C_8 . В работе [19] рассмотрена пинч-интеграция ТН в промышленные процессы, не обязательно связанной с ректификационными колоннами. В работах [20, 21] рассмотрена управляемость интегрированных систем ректификационная колонна – ТН.

В работе [22] проведен теоретический анализ экономической эффективности пинч-интеграции ТН с ректификационными колоннами. В работе [23] выполнен термодинамический анализ интеграции ТН и колонны для разделения системы этанол – вода.

В работе [24] показана эффективность интеграции двух компрессоров, расположенных на верхнем погоне, с ректификационной колонной. В работе [25] рассмотрена интеграция тепловых насосов при интеграции всего производственного комплекса (total site). Показано, что в этом случае оптимальная интеграция ТН может быть выполнена между пинчами отдельных процессов.

В работе [26] сравнивается эффективность классической пинч-интеграции и углубленная интеграция с применением ТН для нефтеперерабатывающего завода. Показано, что наибольшая экономическая эффективность достигается при выполнении интеграции ТН в пинч-интегрированный процесс. В работе [27] представлен алгоритм выбора интеграции ТН для многокомпонентных и бинарных смесей в зависимости от параметров процесса.

Для параметров процесса очистки тетраоксида титана в соответствии с [27] для интеграции необходимо выбирать схему ТН с рекомпрессией паров верхнего погона колонны. В [28] показано, что оптимальное размещение теплового насоса – это размещение ТН поперек пинча и используется для этого большая составная кривая процесса.

Успешная интеграция ТН в различные системы разделения с ректификационными колоннами позволяет нам рассмотреть пинч-интеграцию ТН в процесс очистки тетраоксида титана методом ректификации.

Анализ Большой составной кривой

Большая составная кривая показывает возможность размещения трех тепловых насосов поперек процессного пинча в технологической схеме очистки тетраоксида титана (рис. 2). Первый тепловой насос можно установить для отбора теплоты паров с верха колонны РК-1 (рис. 1). Теоретическая мощность, которую можно получить, компримируя пары колонны РК-1 приблизительно равна 350 кВт. Мощность, которую можно рекуперировать, компримируя пары ванадиевого дистиллята ректификационной укрепляющей колонны (рис. 1), равна 3488 кВт. Мощность, которую можно рекуперировать, компримируя пары дистилляционной колонны, равна 900 кВт. Также можно компримировать пары очищенного тетраоксида титана после дистилляционной колонны, но у них наименьшая из всех рассмотренных паровых потоков температура, что приведет к увеличению эксплуатационных затрат на компрессионном оборудовании, и на данном этапе модернизации теплоэнергетической схемы процесса мы этот поток рассматривать не будем.

Параметры компремированных потоков рассчитаем с помощью программного обеспечения UNISIM DESIGN.

Расчет параметров компремированных потоков

1. Концентрат легкокипящих примесей (КЛП)(5, 8) – пары колонны РК-1 поступают с температурой 136 °С в компрессор для сжатия. После компремирования температура паров повышается до 166 °С и

поток поступает в межтрубное пространство теплообменника. Далее происходит конденсация и охлаждение КЛП до температуры 152 °С, с которой поток поступает в емкость РЕ-1.

2. Ванадиевый дистиллят (11–19). Пары колонны РК-2У с температурой 138 °С поступают компрессор для сжатия. После компримирования температура паров повышается до 172 °С. Далее происходит конденсация и охлаждение КЛП до температуры 158 °С, с которой поток поступает в емкость РЕ-2.

3. Очищенный тетрахлорид титана (22–24). Пары колонны ДК с температурой 136 °С поступают в компрессор для сжатия. После компримирования температура паров повышается до 167 °С. Далее происходит конденсация и охлаждение КЛП до температуры 154 °С, с которой поток поступает в емкость РЕ-5.

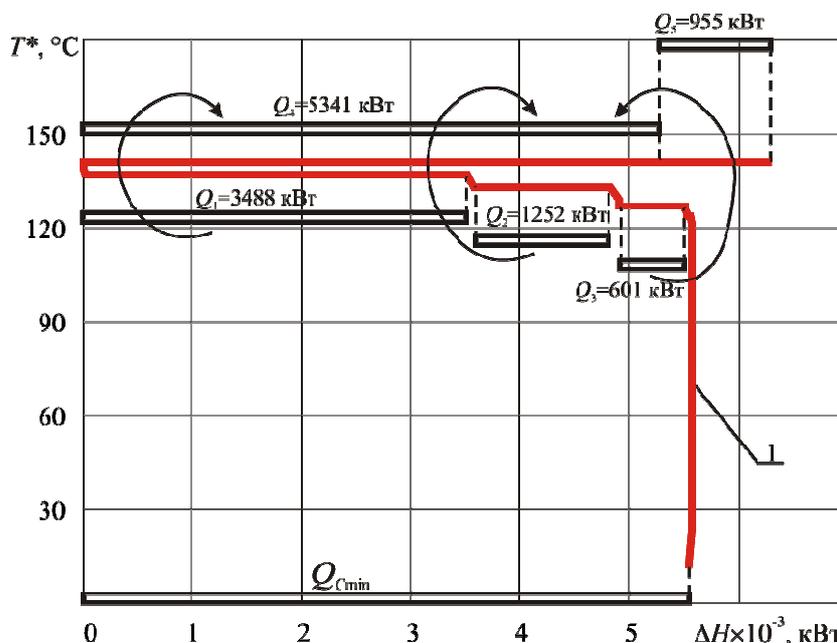


Рисунок 2 – Большая составная кривая процесса очистки тетрахлорида титана. T^* – сдвинутые на $\Delta T_{\min}/2$ температуры, Q_1, Q_2, Q_3 – хладопроизводительности тепловых насосов, Q_4 – общая хладопроизводительность тепловых насосов, Q_5 – новое значение горячей утилиты, $Q_{c\min} = 5528.1$ кВт, $Q_{REC} \approx 293.5$ кВт, $\Delta T_{\min} = 2$ °С

С учетом полученных данных относительно изменения температур потоков после установки компрессоров, составлена новая потоковая таблица (табл. 1).

Таблица 1 – Технологические данные потоков установки очистки тетрахлорида титана после установки компрессоров

№	Название потока	Тип	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_T, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/ч}$	$C, \text{кДж/}(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$	$CP, \text{кВт/}^\circ\text{C}$	$r, \text{кДж/кг}$	$\Delta H, \text{кВт}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.1	КЛП, охлаждение пара (5)	гор	166	160	6600	0,528	0,968		5,81
1.2	КЛП, конденсация пара в АВО-1	гор	160	160	6600			190,974	350,12
1.3	КЛП, жидкость (8)	гор	160	152	6600	0,804	1,475		11,80
2	TiCl4 и легкокипящие примеси с установки (7)	гор	126	25	600	0,804	0,134		13,54
3.1	Ванадиевый дистиллят-1, охлаждение пара (11 - 18)	гор	172	166	65759	0,553	10,103		60,62
3.2	Ванадиевый дистиллят-1, конденсация пара в АВО-2	гор	166	166	65759			190,974	3488,42
3.3	Ванадиевый дистиллят-1, жидкость в РЕ-2 (17)	гор	166	164	5921	0,804	1,323		2,65
3.4	Ванадиевый дистиллят-1, жидкость из АВО-2 (19)	гор	166	158	59838	0,804	13,372		106,98
4.1	Очищенный тетрахлорид титана, охлаждение пара (22)	гор	167	158	17000	0,532	2,513		22,62

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.2	Очищенный тетрахлорид титана, конденсация пара в АВО-5	гор	158	158	17000			190,974	901,82
4.3	Очищенный тетрахлорид титана, жидкость (24)	гор	158	154	17000	0,804	3,799		15,20
5.1	Ванадиевый дистиллят-2, охлаждение пара (33)	гор	127	125	362	0,553	0,056		0,11
5.2	Ванадиевый дистиллят-2, конденсация пара в АВО-3	гор	125	125	362			190,974	19,19
5.3	Ванадиевый дистиллят-2, жидкость (36)	гор	125	120	362	0,804	0,081		0,40
6.1	Очищенный тетрахлорид титана, гот. продукция, охлаждение пара (25)	гор	130	128	11322	0,532	1,674		3,35
6.2	Очищенный тетрахлорид титана, гот. продукция, конденсация пара в АВО-6	гор	128	128	11322			190,974	600,60
6.3	Очищенный тетрахлорид титана, жидкость (32)	гор	128	25	11322	0,804	2,530		260,59
7.1	Очищенный VOCl_3 , охлаждение пара (39)	гор	127	125	362	0,553	0,056		0,11
7.2	Очищенный VOCl_3 , конденсация пара в АВО-4	гор	125	125	362			190,974	19,19
7.3	Очищенный VOCl_3 , жидкость в РЕ-4 (42)	гор	125	120	362	0,804	0,081		0,40
8	Очищенный VOCl_3 , жидкость, гот. продукция (46)	гор	120	25	24	0,804	0,005		0,51
9	ТТТ, жидкость (1 - 2)	хол	10	120	12000	0,796	2,654		291,90
Продолжение таблицы 1									
10	Очищенный ванадиевый дистиллят, жидкость, (35)	хол	120	140	24	0,804	0,005		0,11
11	Кубовый остаток РК-1 (27)	хол	140	140	17973			190,974	953,41
12	Кубовый остаток РК-2 (29)	хол	140	140	83013			190,974	4403,7
13	Кубовый остаток РК-3 (38)	хол	140	140	377			190,974	20,02
14	Кубовый остаток РК-4 (44)	хол	140	140	377			190,974	20,02
15	Кубовый остаток ДК (31)	хол	140	140	16944			190,974	898,87

Используя новые потоковые данные, построим составные кривые для технологической схемы процесса очистки тетрахлорида титана с компримированием дистиллята колонн и $\Delta T_{\min} = 2$ °С. Построенные составные кривые (рис. 3) показывают, что при использовании тепловых насосов горячие утилиты сократятся с 6297.4 кВт до 1370.1 кВт, т.е. уменьшатся в 4.6 раза. Потребление холодных утилит уменьшится с 5529.3 кВт до 625.44 кВт, т.е. уменьшится более чем в 8 раз. Мощность рекуперации тепловой энергии возрастет с 292.3 кВт до 5258 кВт, т.е. увеличится в 18 раз.

Синтез энерготехнологической схемы процесса очистки технического тетрахлорида титана с получением очищенного тетрахлорида титана и ванадиевого дистиллята

Применяя методы пинч-проектирования, такие как разделение системы технологических потоков, на две энергетически независимые системы на пинче, критерий ΔT_{\min} , CP правила [1–3] строим сеточную диаграмму теплоэнергетической системы для потоковой таблицы с учетом того, что пинч-температура горячих потоков равна $t_{\text{hot}} = 130$ °С, а холодных $t_{\text{cool}} = 128$ °С (рис. 3). В результате мы получили пинч-проект системы рекуперации тепловой энергии, содержащий четыре рекуперативных теплообменных аппарата (рис. 4). Общая мощность рекуперации тепловой энергии равна 5259 кВт, что совпадает с целевым значением мощности рекуперации, полученным при построении составных кривых (рис. 3). Мощность горячих утилит равна $Q_{H\min} = 1370$ кВт, а мощность холодных утилит равна $Q_{C\min} = 627,5$ кВт, что также совпадает с целевыми значениями.

Используя сеточную диаграмму предлагаемого проекта пинч-модернизации системы рекуперативного теплообмена (рис. 4) построим принципиальную энерготехнологическую схему процесса очистки тетрахлорида титана с использованием тепловых насосов (рис. 5).

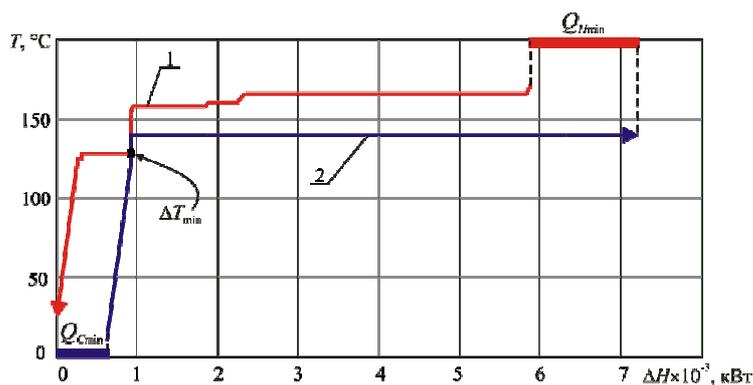


Рисунок 3 – Составные кривые системы теплообмена процесса очистки четыреххлористого титана с применением тепловых насосов. 1 – составная кривая горячих потоков; 2 – составная кривая холодных потоков; Q_{Hmin} , Q_{Cmin} , Q_{REC} – целевые значения потребляемой мощности горячих утилит, холодных утилит и мощность рекуперации. $Q_{Hmin} = 1370$ кВт, $Q_{Cmin} = 625.44$ кВт, $Q_{REC} \approx 5258$ кВт, $\Delta T_{min} = 2$ °C

Сеточная диаграмма с учетом установки теплового насоса

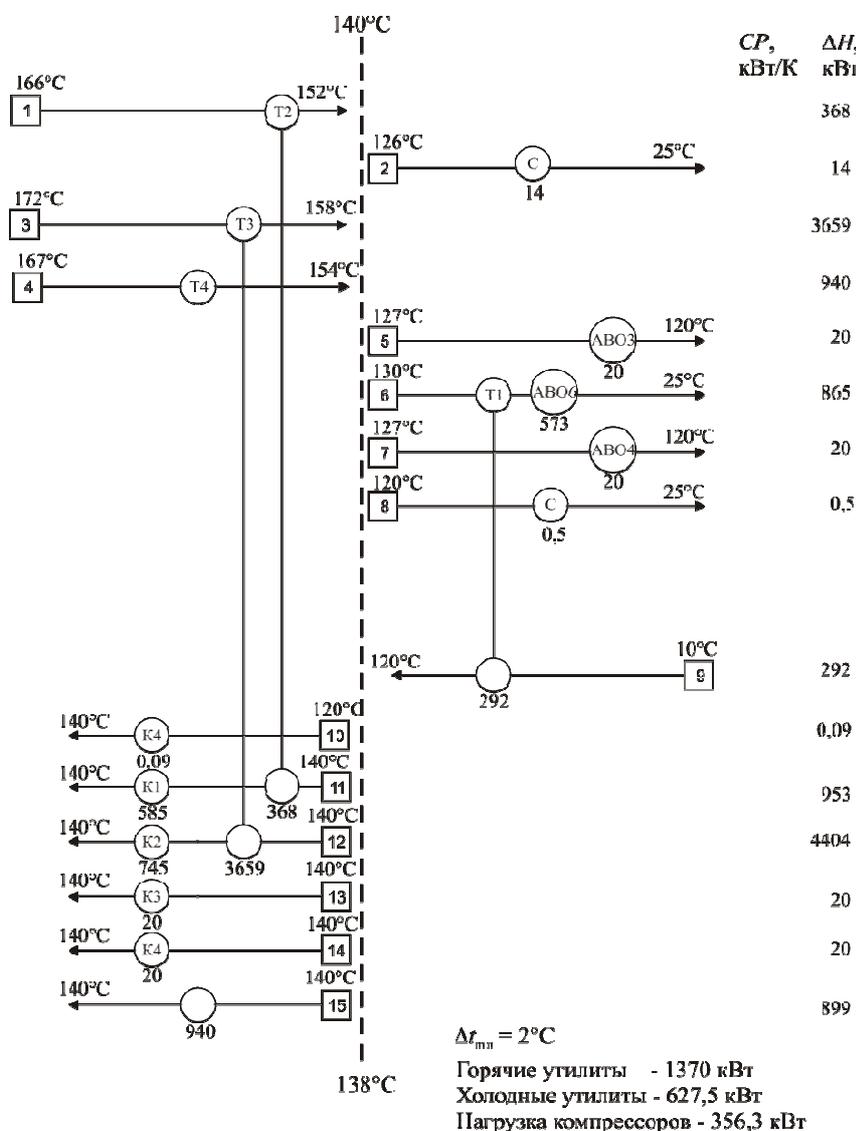


Рисунок 4 – Сеточная диаграмма пинч-проекта системы рекуперативного теплообмена с использованием тепловых насосов. $Q_{Hmin} = 1370$ кВт, $Q_{Cmin} = 625.44$ кВт, $\Delta T_{min} = 2$ °C

Отделение твердых примесей и растворенных газов.

В колонну РК-1 на расчетную тарелку подаётся питание (поток 2) – технический $TiCl_4$ (ТТТ). $TiCl_4$ освобождается от растворенных газов (поток 5) (хлор, фосген), $SiCl_4$, алюминия, твердых взвесей.

С верха колонны отбирается КЛП, состоящий в основном из $SiCl_4$, а растворенные газы удаляются вместе с газовой фазой. Пары верха колонны (поток 5) РК-1 сжимаются компрессором К-102, конденсируются в теплообменнике Т-2 и дросселируются в емкость (сепаратор) РЕ-1 (поток 8).

Твердые взвеси, алюминий и кислород (поток 4) – концентрируются в кубовой жидкости, а затем выводятся из куба. После этого кубовый остаток возвращается в начало процесса вместе с исходным ТТТ. Подогрев низа колонны осуществляется последовательно в теплообменнике Т-2 (поток 27) и подогревателе куба К-1 (поток 26). Очищенный от примесей $TiCl_4$ (поток 14) из куба передается на следующую стадию очистки.

Получение первичного ВД.

В колонну РК-2 на расчетную тарелку подаётся питание (поток 14) – ректификат с РК-1, а в куб – кубовый остаток с РК-3 (поток 10). Продукт освобождается от $VOCl_3$ и в виде ректификата-2 (поток 12) перетекает в куб следующей колонны. Первичный ВД отбирается с верха колонны. Пары верха колонны РК-2У (поток 11) сжимаются компрессором К-100, конденсируются в теплообменнике Т-3 и дросселируются в емкость (сепаратор) РЕ-2 (поток 18). Подогрев низа колонны осуществляется последовательно в теплообменнике Т-3 (поток 29) и подогревателе куба К-2 (поток 28).

Отделение остаточного ВД из ректификата.

Осуществляется в колонне дистилляции ДК с орошением, методом химической очистки, подача химического реагента производится в куб колонны.

В кубе происходит химическое превращение растворенного $VOCl_3$ в нерастворимый $VOCl_2$, а в колонне – отделение твердых продуктов реакции и окончательная очистка $TiCl_4$ от труднокипящих примесей.

Целевой очищенный $TiCl_4$ отбирается с верха колонны (поток 22). Пары верха колонны ДК (поток 22) сжимаются компрессором К-101, конденсируются в теплообменнике Т-4 и дросселируются в емкость (сепаратор) РЕ-5 (поток 24). Целевой продукт отбирается из емкости РЕ-5 (поток 25), охлаждается в теплообменнике Т-1 и (аппарате воздушного охлаждения) АВО-6 и выводится с установки (поток 30).

Вывод кубового остатка производится по установленному значению содержания твердых взвесей (не более 100 г/дм^3). После отделения твердых взвесей возвращается в начало процесса вместе с исходным ТТТ на питание в РК-1. Подогрев низа колонны осуществляется последовательно в теплообменнике Т-4 и подогревателе куба К-5.

Концентрирование первичного ВД.

Осуществляется в колонне ректификации РК-3. С верха колонны отбирается вторичный ВД (поток 33) с содержанием $VOCl_3$ 100 %. Кубовый остаток возвращается в куб РК-1 (поток 10). Первичный ванадиевый дистиллат ВД-1 из емкости РЕ-2 насосом Н-2 (поток 16) подается в ректификационную колонну РК-3. В колонне происходит концентрирование оксотрихлорида ванадия до заданной концентрации $VOCl_3$. Пары, выходящие из колонны (поток 33), конденсируются и охлаждаются в дефлегматоре АВО-3, жидкость поступает в рефлюксную емкость РЕ-3 (поток 36). Из нее часть жидкости, в качестве флегмы (поток 34), подается на орошение колонны РК-3, а другая часть (поток 35) – вторичный ванадиевый дистиллат ВД-2, остаточные количества $SiCl_4$, и $SOCl_2$ +АЦХ отбирается в емкость Е-2.

Продукт низа колонны РК-3 (поток 38), содержащий преимущественно $TiCl_4$ и $VOCl_3$, поступает в куб К-3, откуда, в заданном количестве, отбирается в колонну РК-2 (поток 10). Обогрев колонны РК-3 осуществляется с помощью куба-испарителя К-3 электричеством.

Состав примесей в техническом тетрахлориде титана не является постоянным. Кроме того, в первичном ванадиевом дистиллате ВД-1 происходит концентрирование легколетучих примесей, уходящих с парами из куба-испарителя К-1 в РК-2. Поэтому, для получения $VOCl_3$ требуемого качества, предусмотрена ректификационная колонна РК-4 периодического действия. В этой колонне происходит окончательная очистка $VOCl_3$ от легколетучих примесей. Пары, выходящие из колонны РК-4 (поток 39) конденсируются и охлаждаются дефлегматоре АВО-4, а жидкость поступает в рефлюксную емкость РЕ-4 (поток 42). Из нее, часть жидкости, в качестве флегмы (поток 40), подается на орошение колонны РК-4, а другая часть (поток 41), в зависимости от анализа: при высоком содержании легколетучих примесей – направляется на повторную переработку к ректификационную колонну РК-1, а при низком, очищенный $VOCl_3$ – в емкость С-2, где накапливается и периодически передается на склад готовой продукции. Обогрев колонны РК-4 осуществляется с помощью куба К-4 электричеством.

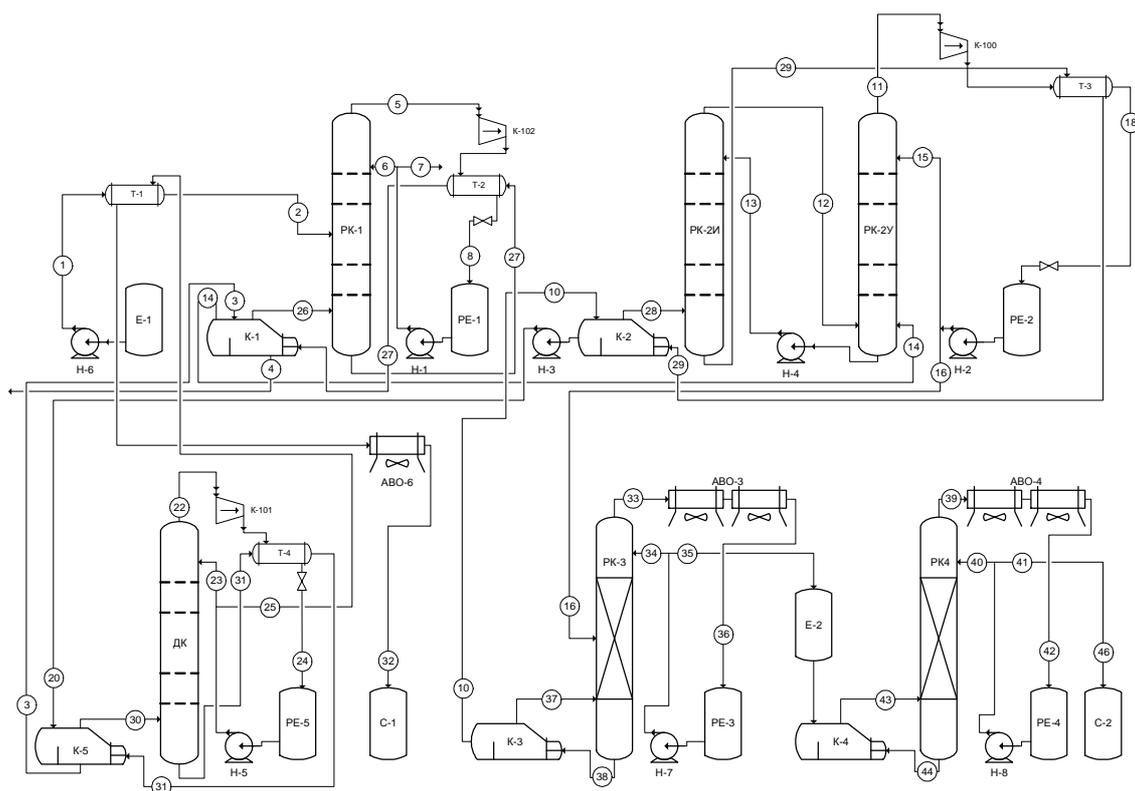


Рисунок 5 – Предлагаемая энерготехнологическая схема реконструкции процесса очистки тетрахлорида титана после реконструкции

Е-1,2 – емкость; С-1,2 – сборник; Н-1-8 – насос; К-1-5 – электрический подогреватель куба; РК-1,3,4 – ректификационная колонна; ДК – дистилляционная колонна; РК-2И, РК-2У – ректификационные колонны – исчерпывающая и укрепляющая (разрезная колонна); Т-1-3 – теплообменник; АВО-1-5 – аппарат воздушного охлаждения; РЕ-1-5 – рефлюксная емкость; К-100-102 – компрессор

Оценка численных значений энергопотребления и рекуперации в существующем и предлагаемом проектах приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Энергопотребление и рекуперация существующей системы теплообмена и системы теплообмена в предлагаемом проекте реконструкции

№ п/п	Энергетическая характеристика процесса первичной переработки нефти	Процесс с существующей системой теплообмена	Процесс с предлагаемой системой теплообмена	% от существующего значения
1	Тепловая мощность, потребляемая процессом, кВт	6297.4	1370.1	22
2	Тепловая мощность, отводимая на холодильниках, кВт	5529.3	625.44	11
3	Мощность рекуперации теплоты, кВт	292.3	5258	1800

Выводы

Применение методов пинч-анализа к интеграции тепловых насосов в процесс очистки четыреххлористого титана на ЗТМК позволит уменьшить энергопотребление на установке более чем в 4 раза от уровня потребления, существующего в настоящее время, а мощность, используемых холодных утилит уменьшить почти в 8 раз.

Годовая прибыль от внедрения проекта модернизации системы теплообмена процесса очистки четыреххлористого титана составит величину 3 127 000 долл. США, а срок окупаемости в этом случае будет

равен 5 місяцям, но эта величина получена без учета стоимости проектных работ. Их учет не сильно изменит величину срока окупаемости.

Литература

1. Eylon D. Titanium Technology in the USA – an Overview / D. Eylon, S.R. Seagle // *J. Mater. Sci. Technol.* – 2001. – Vol. 17, № 4. – P. 439–443.
2. Turner P. C, Low cost titanium myth or reality [Электронный ресурс] / P.C, Turner, A. Hartmar, J.S. Hansen S.J.Gerdeman // – Режим доступа <http://www.osti.gov/bridge/purl.cover.jsp?purl=/899609-PMSrtc/899609.PDF>, Last Updated: 07.23.2012.
3. Ремизов Г.О. Перспективы развития титановой промышленности на Украине / Г.О. Ремизов, В.Я. Саенко, Я.В. Белоконь. – *Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції* – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – С. 297–307.
4. Мищенко В.Г. Титан Украины для авиастроения: тенденции и перспективы развития / В.Г. Мищенко, А.С. Багрийчук // *Вестник двигателестроения*. – 2009. – №1. – С. 139–142.
5. «Космический» прокат [Электронный ресурс]: <http://www.dsnews.ua/companies-markets/markets-regions/>.
6. Сивак В.В. Обзор современных методов очистки тетраоксида титана/ В.В. Сивак, Л.М. Ульев, М.В. Соколов // *Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів»*. – Харків: НТУ «ХПІ» – 2012. – № 10. – С. 96–105.
7. Сивак В.В. Экстракция данных для теплоэнергетической интеграции процесса очистки четыреххлористого титана методом ректификации / В.В. Сивак, Л.М. Ульев // *Інтегровані технології та енергозбереження*. – 2012. – № 2. – С. 3–8.
8. Сивак В.В. Энергосберегающий потенциал процесса очистки четыреххлористого титана / В.В. Сивак, Л.М. Ульев // *Тези доповідей XX Міжнародної науково-практичної конференції [«Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я»], microCAD'2012*. – Харків: СПДФО Ізраїлев Є.М. – 2012. – Ч. III. – С. 25.
9. Ульєв Л.М. Традиционный энергосберегающий потенциал процесса очистки тетраоксида титана/ Л.М. Ульєв, В.В. Сивак, Л.А. Мельниковская // *Наукові праці ОНАХТ*. – Одеса: ФОП Попова Н.М. – 2012. – Випуск 41, том 2. – С. 25–30.
10. Сивак В.В. Интеграция процесса очистки четыреххлористого титана с концентрацией хлорокси ванадия / В.В. Сивак, Л.М. Ульєв, А.Н. Сулима // *Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів»*. – Харків: НТУ «ХПІ» – 2012. – № 39. – С. 15–30.
11. Ульєв Л.М. Пинч-анализ процесса очистки четыреххлористого титана методом ректификации / Л.М. Ульєв, В.В. Сивак // *International Conference "Energetica Moldovei-2012, conf.int.*(2012: Chişinău) Aspecte regionale de dezvoltare, 4-6 oct, 2012, Chisinau: Rapoarte, Ed. a 2-a/col. red.: Berzan V. [et.al]. - Ch.: S. n. 2012 (Tipogr. AŞM)/- 620 p., – P. 413–420.*
12. Wisz M.W. High performance trays and heat exchangers in heat pumped distillation columns / M.W. Wisz, R. Antonelli, E. G. Ragi // *Proceedings from the Third Industrial Energy Technology Conference*. – Houston, TX, April 26–29. – 1981. – P. 91–96.
13. Meszaros I. Design strategy for heat pump assisted distillation system / I. Meszaros, Z.Fonyo // *Heat Recovery Systems*. – 1986. – Vol. 6, – No. 6. – P. 469–476.
14. Fonyo Z. Economic applications of heat pumps in integrated distillation systems / Z. Fonyo, P. Mizsay // *Heat Recovery Systems and CHP*. – 1994. – Vol. 14. – No. 3. P. 249–263.
15. Fonyo Z. Comparison of various heat pump assisted distillation configurations / Z. Fonyo, N. Benko // *Trans IChemE*. – 1998. – Vol 76. – March. – Part A. – P. 348–360.
16. Fonyo Z. Comparative analysis of various heat pump schemes applied to C₄ splitters / Z. Fonyo, Kurntt, D.W.T. Rippin, I. Meszaros // *Computers chem. Engng*. – 1995. – Vol. 19. – Suppl. – P. S1–S6.
17. Mesazaros I. 1-butene separation processes with heat pump assisted distillation / I. Mesazaros, A. Meili // *Heat Recovery Systems and CHP*. – 1994. – Vol. 14. – No. 3. – P. 315–322.
18. Richterová V. Application of heat pump in rectification decreases energy consumption in the chemical industry / V. Richterová // *Energy Corners. Mgmt*. – 1991. – Vol. 32. – No. 6. – P. 519–528.
19. Wallin E. Integration of heat pumps in industrial processes / E. Wallin, T. Berntsson // *Heat Recovery Systems and CHP* – 1994. – Vol. 14. – No. 3. – P. 287–296.
20. Koggersbøl A. Control Configurations for an Energy Integrated Distillation Column / A. Koggersbøl, B.R. Andersen, J.S. Nielsen, S. Bay Jørgensen // *Comput. chem. Engng*. – 1996. – Vol. 20. – Suppl. – P. S853–S858.

21. Chandra Ishwar Control of a heat pump assisted distillation column / Ishwar Chandra, Sukumar Devotta // *Applied Thermal Engineering*. – 1998. – Vol. 18. – No. 8. – P. 643–652.
22. Rivera-Ortega P. Thermal integration of heat pumping systems in distillation columns / P. Rivera-Ortega, M. Picón-Núñez, E. Torres-Reyes, A. Gallegos-Muñoz // *Applied Thermal Engineering*. – 1999. – Vol. 19. – P. 819–829.
23. Enweremadu C. C. Parametric study of pressure increase across a compressor in ethanol-water vapour re-compression distillation column / C. C. Enweremadu, M. A. Waheed, J. O. Ojediran // *Scientific Research and Essay*. – 2008. – Vol. 3 – No. 9. – P. 431–441.
24. Matsuda Kazuo Advanced energy saving in distillation process with self-heat recuperation technology / Kazuo Matsud, Kenichi Kawazuishi, Yasuki Kansha, Chihiro Fushimi, M Nagao, H. Kunikiyo, F. Masuda, Atsushi Tsutsumi // *Chemical engineering transactions*. – 2010. – Volume 21. – P. 31–36.
25. Bagajewicz Miguel J. On the use of heat pumps in total site heat integration / Miguel J. Bagajewicz, Andres F. Barbara // *Computers and Chemical Engineering*. – 2003. – Vol. 27 –P. 1707–1719.
26. Farhanieh B. Analysis of an existing heat exchanger network and effects of heat pump installations / B. Farhanieh, B. Sunden // *Heat Recovery System and CHP*. – 1990 – Vol. 10. – No. 3. P. 285–296.
27. Kiss Anton A. Mastering heat pumps selection for energy efficient distillation / Anton A. Kiss, Servando J. Flores Landaeta, Carlos A. Infante Ferreira // *Chemical engineering transactions*. – 2012. – Volume 29. – P. 397–402.
28. Основы интеграции тепловых процессов / [Смит Р., Товажнянский Л.Л, Клемеш Й. Капустенко П.А., Ульев Л.М.]. – Х.: ХГПУ. 2000. – 457 с.

Bibliography (transliterated)

1. Eylon D. Titanium Technology in the USA – an Overview D. Eylon, S.R. Seagle *J. Mater. Sci. Technol.* – 2001. – Vol. 17, # 4. – P. 439–443.
2. Turner P. C, Low cost titanium myth or reality [Jelektronnyj resurs] P.C, Turner, A. Hartmar, J.S. Hansen S.J.Gerdeman – Rezhim dostupa <http://www.osti.gov/bridge/purl.cover.jsp?purl=/899609-PMSrtc/899609.PDF>, Last Updated: 07.23.2012.
3. Remizov G.O. Perspektivy razvitija titanovoj promyshlennosti na Ukraine G.O. Remizov, V.Ja. Saenko, Ja.V. Belokon'. – Special'na metalurgija: vchora, s'ogodni, zavtra: Materiali IX Mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii – K.: NTUU «KPI», 2011. – p. 297–307.
4. Mishhenko V.G. Titan Ukrainy dlja aviastroenija: tendencii i perspektivy razvitija V.G. Mishhenko, A.S. Bagrijchuk *Vestnik dvigatelestroenija*. – 2009. – #1. – p. 139–142.
5. «Kosmicheskij» prokat [Jelektronnyj resurs]: <http://www.dsnews.ua/companies-markets/markets-regions/>.
6. Sivak V.V. Obzor sovremennyh metodov ochistki tetrahlorida titana V.V. Sivak, L.M. Ul'ev, M.V. Sokolov *Visnik NTU «HPI». Zbirnik naukovih prac'. Tematicnij vipusk «Innovacijni doslidzhennja u naukovih robotah studentiv»*. – Harkiv: NTU «HPI» – 2012. – # 10. – p. 96–105.
7. Sivak V.V. Jekstrakcija dannyh dlja teplojenergeticheskoy integracii processa ochistki chetyreh-hloristogo titana metodom rektifikacii V.V. Sivak, L.M. Ul'ev *Integrovani tehnologii ta energoz-berezhennja*. – 2012. – # 2. –p. 3–8.
8. Sivak V.V. Jenergosberegajushhij potencial processa ochistki chetyrehhloristogo titana V.V. Si-vak, L.M. Ul'ev *Tezi dopovidej XX Mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii [«Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja»], microCAD'2012*. – Harkiv: SPDFO Izrajlev Є.М. – 2012.– Ch. III. – p. 25.
9. Ul'ev L.M. Tradicionnyj jenergosberegajushhij potencial processa ochistki tetrahlorida titana L.M. Ul'ev, V.V. Sivak, L.A. Mel'nikovskaja *Naukovi prac' ONAHT*. – Odesa: FOP Popova N.M. –2012. – Vipusk 41, tom 2. –p. 25–30.
10. Sivak V.V. Integracija processa ochistki chetyrehhloristogo titana s koncentraciej hlorokisi vanadija V.V. Sivak, L.M. Ul'ev, A.N. Sulima *Visnik NTU «HPI». Zbirnik naukovih prac'. Tematicnij vipusk «Innovacijni doslidzhennja u naukovih robotah studentiv»*. – Harkiv: NTU «HPI» – 2012. – # 39. – p. 15–30.
11. Ul'ev L.M. Pinch-analiz processa ochistki chetyrehhloristogo titana metodom rektifikacii L.M. Ul'ev, V.V. Sivak *International Conference "Energetica Moldovei-2012, conf.int.*(2012: Chişinău) Aspecte regionale de dezvoltare, 4-6 oct, 2012, Chisinau: Rapoarte, Ed. a 2-a/col. red.: Berzan V. [et.al]. - Ch.: S. n. 2012 (Tipogr.*

AŞM)/- 620 p., – P. 413–420.

12. Wisz M.W. High performance trays and heat exchangers in heat pumped distillation columns M.W. Wisz, R. Antonelli, E. G. Ragi Proceedings from the Third Industrial Energy Technology Conference. – Houston, TX, April 26–29. – 1981. – P. 91–96.

13. Meszaros I. Design strategy for heat pump assisted distillation system I. Meszaros, Z.Fonyo Heat Recovery Systems. – 1986. – Vol. 6, – No. 6. – P. 469–476.

14. Fonyo Z. Economic applications of heat pumps in integrated distillation systems Z. Fonyo, P. Mizsay Heat Recovery Systems and CHP. – 1994. – Vol. 14. – No. 3. P. 249–263.

15. Fonyo Z. Comparison of various heat pump assisted distillation configurations Z. Fonyo, N. Benko Trans IChemE. – 1998. – Vol 76. – March. – Part A. – P. 348–360.

16. Fonyo Z. Comparative analysis of various heat pump schemes applied to C4 splitters Z. Fonyo, Kurntt, D.W.T. Rippin, I. Meszaros Computers chem. Engng. – 1995. – Vol. 19. – Suppl. – P. S1–S6.

17. Mesazaros I. 1-butene separation processes with heat pump assisted distillation I. Mesazaros, A. Meili Heat Recovery Systems and CHP. – 1994. – Vol. 14. – No. 3. – P. 315–322.

18. Richterová V. Application of heat pump in rectification decreases energy consumption in the chemical industry V. Richterová Energy Corners. Mgmt. – 1991. – Vol. 32. – No. 6. – P. 519–528.

19. Wallin E. Integration of heat pumps in industrial processes E. Wallin, T. Berntsson Heat Recovery Systems and CHP – 1994. – Vol. 14. – No. 3. – P. 287–296.

20. Koggersbøl A. Control Configurations for an Energy Integrated Distillation Column A. Koggersbøl, B.R. Andersen, J.S. Nielsen, S. Bay Jørgensen Compuun chem. Engng. – 1996. – Vol. 20. – Suppl. –P. S853–S858.

21. Chandra Ishwar Control of a heat pump assisted distillation column Ishwar Chandra, Sukumar Devotta Applied Thermal Engineering. – 1998. – Vol. 18. – No. 8. – P. 643–652.

22. Rivera-Ortega P. Thermal integration of heat pumping systems in distillation columns P. Rivera-Ortega, M. Picón-Núñez, E. Torres-Reyes, A. Gallegos-Muñoz Applied Thermal Engineering. – 1999. – Vol. 19. – P. 819–829.

23. Enweremadu C. C. Parametric study of pressure increase across a compressor in ethanol-water vapour recompression distillation column C. C. Enweremadu, M. A. Waheed, J. O. Ojediran Scientific Research and Essay. – 2008. – Vol. 3 – No. 9. – P. 431–441.

24. Matsuda Kazuo Advanced energy saving in distillation process with self-heat recuperation technology Kazuo Matsud, Kenichi Kawazuishi, Yasuki Kansha, Chihiro Fushimi, M Nagao, H. Kunikiyo, F. Masuda, Atsushi Tsutsumi Chemical engineering transactions. – 2010. – Volume 21. – P. 31–36.

25. Bagajewicz Miguel J. On the use of heat pumps in total site heat integration Miguel J. Bagajewicz, Andres F. Barbara Computers and Chemical Engineering. – 2003. – Vol. 27 –P. 1707–1719.

26. Farhanieh B. Analysis of an existing heat exchanger network and effects of heat pump installations B. Farhanieh, B. Sunden Heat Recovery System and CHP. – 1990 – Vol. 10. – No. 3. P. 285–296.

27. Kiss Anton A. Mastering heat pumps selection for energy efficient distillation Anton A. Kiss, Servando J. Flores Landaeta, Carlos A. Infante Ferreira Chemical engineering transactions. – 2012. – Volume 29. – P. 397–402.

28. Osnovy integracii teplovyh processov [Smit R., Tovazhnjanskij L.L, Klemesh J. Kapustenko P.A., Ul'ev L.M.]. – Н.: НГПУ. 2000. – 457 p.

УДК 669.295: 662.2

Ульєв Л.М., Сивак В.В.

ПІНЧ-ІНТЕГРАЦІЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ В ПРОЦЕС ОЧИЩЕННЯ ТЕТРАХЛОРИДА ТИТАНУ

На підставі детального аналізу технологічної схеми процесу очищення чотирихлористого титану методом ректифікації із одночасним отриманням оксотрихлориду ванадію заданої чистоти визначені технологічні потоки, які можуть брати участь в теплоенергетичній інтеграції теплових насосів у процес, і

визначені їх технологічні параметри. Застосування методів пінч-аналізу до інтеграції теплових насосів в процес очищення чотирихлористого титану на ЗТМК дозволить зменшити енергоспоживання на установці більш ніж в 4 рази від рівня споживання, існуючого в даний час, а потужність, використовуваних холодних утиліт зменшити майже в 8 разів. Річний прибуток від впровадження проекту модернізації системи теплообміну процесу очищення чотирихлористого титану складе величину 3127000 дол. США, а термін окупності в цьому випадку буде дорівнює 5 місяців, але ця величина отримана без урахування вартості проектних робіт.

Ulyev L.V., Sivak V.V.

PINCH-INTEGRATION OF HEAT PUMP IN TITANIUM TETRACHLORIDE CLEANING PROCESS

The flowsheet for new titanium tetrachloride cleaning process with rectification method with simultaneous vanadium oxitrichloride production is presented in this paper. Flowsheet studding and literature analysis allow to define the technological streams for process heat energy integration. The thermal physic and technological parameters were defined for streams. Application of the methods of pinch-analysis to the integration of heat pumps in the cleaning of titanium tetrachloride processes will reduce energy consumption more than 4 times the level of consumption of the present-time, and cold utilities will reduce almost in 8 times. The annual profit from the introduction of the project of modernization of heat treatment process of titanium tetrachloride will equal almost 3.127 million U.S. dollars, and the payback period in this case would be 5 months.

Александрова Т.Е., Лазаренко А.А.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ИНВАРИАНТНОГО СТАБИЛИЗАТОРА ТАНКОВОЙ ПУШКИ

Постановка задачи. В работе [1] описано устройство и принцип работы инвариантного стабилизатора танковой пушки, отличающегося от серийного стабилизатора тем, что в его состав введены датчики давления рабочей жидкости в полостях исполнительного гидроцилиндра, а электронный блок стабилизатора формирует стабилизирующий сигнал в виде:

$$U(t) = k_{\phi}\varphi(t) + k_{\phi}k_c \frac{d\varphi(t)}{dt} + k_p[p_1(t) - p_2(t)], \tag{1}$$

где $\varphi(t)$ – угловое рассогласование оси канала ствола танковой пушки относительно направления на цель, измеряемое с помощью гироскопического датчика угла; $\frac{d\varphi(t)}{dt}$ – угловая скорость поворота танковой пушки относительно оси цапф, измеряемая с помощью гироскопического датчика угловой скорости; $p_1(t), p_2(t)$ – значения давления рабочей жидкости соответственно в верхней и нижней полостях исполнительного гидроцилиндра, измеряемые введенными датчиками давления рабочей жидкости, $k_{\phi}, k_c, k_{\dot{\phi}}, k_p$ – коэффициенты усиления стабилизатора.

Задача параметрического синтеза инвариантного стабилизатора состоит в отыскании численного значения параметра стабилизатора k_p , такого, чтобы запас устойчивости и быстродействие, доставляемые замкнутой системе стабилизации стабилизатором (1), достигали максимального значения.

Основная часть. Математическая модель возмущенного движения танковой пушки как стабилизируемого объекта приведена в работе [2] и имеет следующий вид:

$$I_n \frac{d^2\varphi(t)}{dt^2} = -k_m \Delta p(t);$$

$$T_{k1}^2 \frac{d^2\Delta p(t)}{dt^2} + T_{k2} \frac{d\Delta p(t)}{dt} + \Delta p(t) = \frac{k_e k_y k_d}{c} U(t), \tag{2}$$

где $\Delta p = p_1(t) - p_2(t)$ – разность давления рабочей жидкости полостях исполнительного гидроцилиндра; I_n – момент инерции танковой пушки относительно оси цапф; T_{k1}, T_{k2} – постоянные времени якоря электромагнита управления гидросистемой; c – коэффициент жесткости фиксирующей пружины, удерживающий якорь электромагнита в нейтральном положении; k_m, k_e, k_y, k_d – коэффициенты пропорциональности.

Подставляя в правую часть второго уравнения (2) соотношение (1), получаем математическую модель замкнутой системы стабилизации танковой пушки.

Пусть численные значения параметров системы стабилизации составляют: $I_n = 736.9 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$, $T_{k1} = 10^{-2} \text{ с}$; $T_{k2} = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ с}$; $c = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $k_c = 0.2 \text{ с}^2$; $k_m = 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{Па}^{-1}$; $k_d = 1,228 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $k_e = 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{А}^{-1}$; $k_y = 10^{-2} \text{ Ом}$; $k_{\phi} = 42.9 \text{ В}$; $k_{\dot{\phi}} = 11.42 \text{ В} \cdot \text{с}^{-1}$.

Положим в (1) $k_p = 0$ и получим решение системы дифференциальных уравнений (1), (2) при начальных условиях $\varphi(0) = 0.5$; $\dot{\varphi}(0) = 0$; $\Delta p(0) = 0$; $\dot{\Delta p}(0) = 0$. Процессы в замкнутой системе приведены на рисунке 1 на интервале времени $(0 \div 5) \text{ с}$.

Будем изменять величину коэффициента усиления k_p в окрестности её нулевого значения. На рисунках 2, 3 и 4 приведены процессы в замкнутой системе при $k_p = -1 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$, $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$, $k_p = -5 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ соответственно. Сравнение этих процессов позволяет сделать следующие выводы.

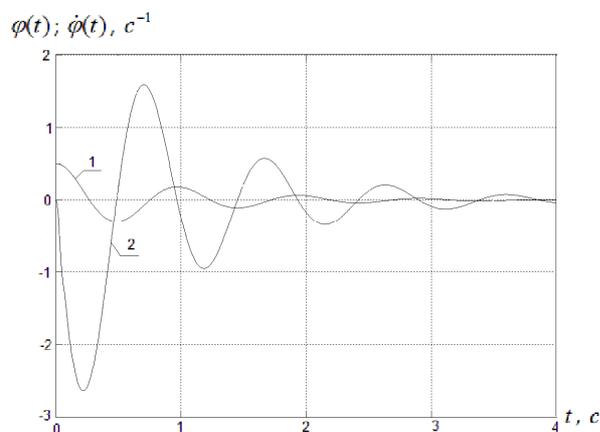


Рисунок 1 – Процессы в штатной замкнутой системе стабилизации: 1 – $\varphi(t)$; 2 – $\dot{\varphi}(t)$

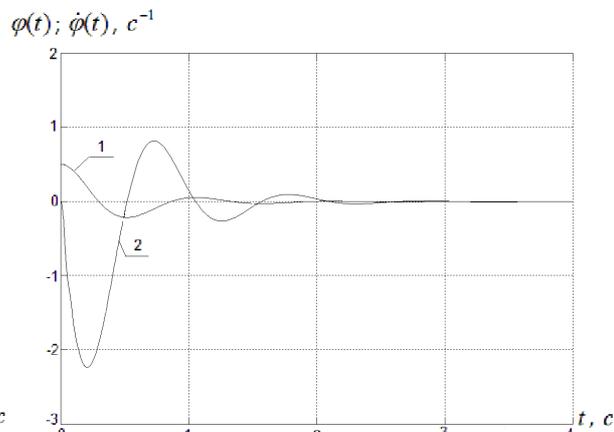


Рисунок 2 – Процессы в инвариантной системе стабилизации при $k_p = -1 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$:

1 – $\varphi(t)$; 2 – $\dot{\varphi}(t)$

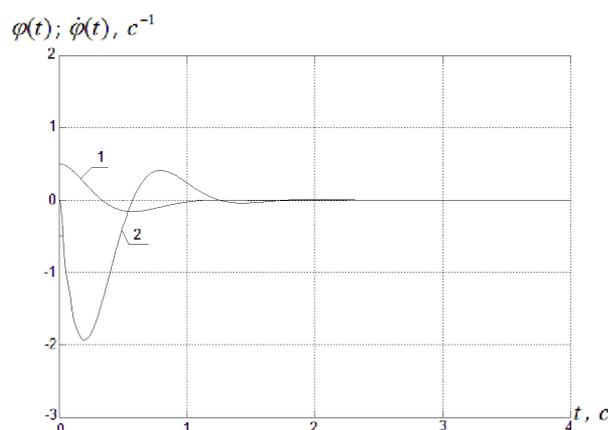


Рисунок 3 – Процессы в инвариантной системе стабилизации при $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$:

1 – $\varphi(t)$; 2 – $\dot{\varphi}(t)$

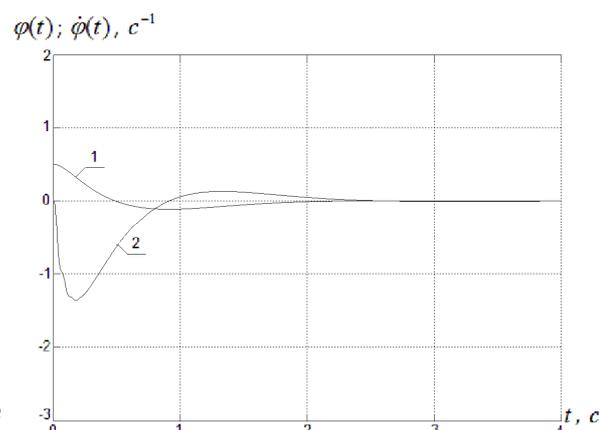


Рисунок 4 – Процессы в инвариантной системе стабилизации при $k_p = -5 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$:

1 – $\varphi(t)$; 2 – $\dot{\varphi}(t)$

Будем изменять величину коэффициента усиления k_p в окрестности её нулевого значения. На рисунках 2, 3 и 4 приведены процессы в замкнутой системе при $k_p = -1 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$, $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$, $k_p = -5 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ соответственно. Сравнение этих процессов позволяет сделать следующие выводы.

Выводы:

1. Введение в закон управления (1) составляющей, пропорциональной разности давлений рабочей жидкости в полостях гидроцилиндра приводит к повышению качества процессов стабилизации, а именно, к повышению запаса устойчивости быстрдействию системы стабилизации.

2. Увеличение коэффициента усиления k_p до величины $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ позволяет уменьшить величину перерегулирования по углу от 0,3 рад штатном стабилизаторе до 0,15 рад при инвариантном стабилизаторе и по угловой скорости от 2,7 рад·с⁻¹ до 1,9 рад·с⁻¹ соответственно.

3. Время переходного процесса для штатного стабилизатора составляет 4 с, а для инвариантного стабилизатора при $k_p = -2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ составляет 1,5 с, что свидетельствует о повышении быстродействия в 2,5 раза.

4. Дальнейшее возрастание коэффициента k_p от $-2 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ приводит к незначительному повышению запаса устойчивости системы стабилизации при существенном ухудшении быстродействия; так, при $k_p = -5 \cdot 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1}$ перерегулирование по углу составляет 0,12 рад, по угловой скорости $1,4 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$, но время затухания переходных процессов возрастает до 2,5 с.

Литература

1. Александрова Т.Е., Александрова И.Е., Лазаренко А.А. Инвариантный стабилизатор танковой пушки// Интегровані технології та енергозбереження. – 2012. – №2. – С. 18–20.
2. Александров Е.Е., Александрова И.Е., Костяник И.В. Выбор коэффициентов усиления электронного блока танковой системы наведения и стабилизации// Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2006. – Вип. 2(8). С. 55–57.

Bibliography (transliterated)

1. Aleksandrova T.E., Aleksandrova I.E., Lazarenko A.A. Invariantnyj stabilizator tankovoj pushki Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – 2012. – #2. – p. 18–20.
2. Aleksandrov E.E., Aleksandrova I.E., Kostjanik I.V. Vybora koeficientov usilenija jelektronnogo bloka tankovoj sistemy navedenija i stabilizacii Zbirnik naukovih prac' Harkivs'kogo universitetu Povitranjih Sil. – 2006. – Vip. 2(8). p. 55–57.

УДК 519.81: 681.51

Александрова Т.Є., Лазаренко А.О.

ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ІНВАРІАНТНОГО СТАБІЛІЗАТОРА ТАНКОВОЇ ГАРМАТИ

Розглянута задача вибору значення коефіцієнту підсилення по тиску інваріантного стабілізатора танкової гармати, який забезпечує підвищення запасу стійкості і швидкої дії замкненої системи стабілізації.

Alexandrova T., Lazarenko A.

PARAMETRIC SYNTHESIS INVARIANT STABILIZER TANK GUN

The problem is selected the gain on the pressure invariant stabilizer tank gun, which provides increased stability margin and rapid stabilization of the closed-loop system.

УДК 681.518.2

Капустенко П.А., Илонин О.О., Перевертайленко А.Ю., Селяков А.М., Шамраев А.А.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ БИВАЛЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Введение. Украинские предприятия теплоснабжения, как правило, имеют древовидную топологию, определяемую распределенным географическим расположением потребителей (жилых массивов, производств). В функции предприятий входит производство теплоносителя, его транспортировка и распространение для полного и своевременного удовлетворения спроса со стороны внешних потребителей. Потребление большого количества минерального топлива приводит к отрицательному воздействию на окружающую среду и негативно влияет на экономические показатели. Это влечет необходимость формализованного описания систем управления сетями теплоснабжения с целью их анализа и построения экономных стратегий управления.

Существуют различные типы топологии рассматриваемых систем, которые определяются спецификой и размещением потребителей и промежуточных узлов распределительных тепловых районных пунктов (ТРП). В общем случае теплоноситель одновременно используется в нескольких процессах – для отопления k зданий с нагрузкой q_k^{om} и для горячего водоснабжения j объектов с нагрузкой $q_j^{гвс}$, таким образом, система приобретает эшелонированную структуру. Местоположение узлов играет существенную роль с точки зрения анализа динамики сети. В последние десятилетия широкое распространение получила бивалентная схема обеспечения тепловой энергией, в которой участвуют несколько узлов, производящих теплоноситель, с разной мощностью.

Предположим, что производительность и пропускная способность N узлов сети ненулевые и, учитывая, что они изменяются во времени, формально представим объект как динамическую модель сетей поставок конечным N_e потребителям.

Граф, изображающий модель сети поставок, в зависимости от стадий переработки сырья и полуфабрикатов разделяется на уровни. Уровень 1 содержит узлы сети, которые являются конечными продавцами продукции ТРП, а именно – индивидуальные тепловые пункты (ИТП) на вводах зданий. В общем случае уровень l содержит узлы, производящие и/или догревающие теплоноситель, распределяющие ресурсы, которые далее используются уровнями строго меньше l , но не менее одного вида продукции уровня (l_1).

Для графического представления сетей поставок используется ориентированный взвешенный граф, вершины которого соответствуют узлам сети и группируются в классы по мере продвижения от поставщиков к последнему классу конечных потребителей N_e . Время доставки определяет веса дуг графа, описывающих управляемые и неуправляемые потоки. Управляемые потоки перераспределяют ресурсы между узлами сети, в которых эти ресурсы могут перерабатываться (пиковый догрев теплоносителя), и планируют поставки сырья извне. Спрос на ресурсы со стороны других узлов и внешнего окружения, формирует неуправляемые потоки. Информация о путях между вершинами графа представляется в виде матрицы достижимости размерностью $(N - N_e) \times N_e$.

Методология. Для математического описания сетей поставок применяются различные подходы [1] и методы исследования операций. Одним из наиболее распространенных подходов является дискретно-событийное моделирование [2], при котором используются следующие допущения:

- 1) выбирается период дискретизации по времени Δt и все временные интервалы считаются кратными выбранному периоду;
- 2) время увеличивается пошагово, текущий момент времени обозначается $k = 0, 1, 2, \dots$, в конце каждого периода времени состояние системы вычисляется с помощью уравнений модели;
- 3) состояние системы характеризуется уровнем запасов каждого вида продукции в течение данного периода.

Для описания узлов сети поставок введем следующие обозначения:

N – количество узлов сети поставок; $P = \{p_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, N}$ – производственная матрица, значение элемента p_{ij} которой равно количеству продукции i (теплоносителя с определенными характеристиками или топлива, необходимого для его производства, измеряемым в кг/ч) которое требуется для производства единицы продукции j ; T_{ji} , – целочисленная переменная, значение которой кратно периоду дискретизации Δt , обозначающая время транспортировки теплоносителя из узла j в узел i ; LT_i – целочисленная переменная, значение которой кратно периоду дискретизации Δt , обозначающая время выполнения заказа в узле i ; C_p , CP_i – стоимости производства и хранения (соответственно) в течение периода времени Δt единицы

продукции i , у.е.; h_i , W_i – максимально допустимые: пропускная способность и производительность в течение Δt (соответственно) узла i , измеряемые в кг/ч.

В качестве переменных состояния модели выбираются уровни запаса ресурсов, имеющихся в наличии $x_i(k)$, то есть таких, которые транспортируются в соответствующие узлы сети после завершения переработки к моменту времени k .

В качестве управляемых потоков модели рассматриваются объемы заявок на поставку ресурсов $u(k)$, которые формируются узлами сети в момент времени k . В качестве неуправляемых потоков рассматриваются объемы внешнего спроса на теплоноситель $q(k)$, которые поступают в момент k на узлы 1-го уровня сети поставок.

Запаздывание, относительно момента заявки требования, при пополнении запасов происходит всегда. Это следствие затрат времени на подготовку выполнения заказов (затрат времени на приготовление и догрев теплоносителя в узлах сети), транспортировку ресурсов между узлами сети, действия физических законов и технологических ограничений работы системы, наличие человеческого фактора.

Для точного определения динамики сетей поставок в математической модели необходимо учесть временные запаздывания, порождаемые. Поэтому необходимо определить значения периодов запаздывания управляемых потоков между узлами сети и найти их максимальное значение:

$$\Lambda_i^{\max} = \max_j \Lambda_{ji}, \quad \Lambda_{\max} = \max_i \Lambda_i^{\max}, \quad i, j = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где $\Lambda_{ij} = T_{ij} + LT_i$, – период запаздывания потоков между узлами j и i , т.е. заявка на поставку теплоносителя j , отправленная из узла i в момент времени k , будет доставлена в момент времени $(k + T_{ij})$, и будет обработана и помещена на «выдачу» в момент времени $(k + T_{ij} + LT_i)$.

Тогда следующее рекуррентное соотношение:

$$x(k+1) = x(k) + \sum_{t=0}^{\Lambda_{\max}} B_t \cdot u(k-t) + E \cdot q(k) \quad (2)$$

описывает динамику сети поставок с запаздываниями управляемых потоков, где $x(k) \in R^N$ – вектор состояний системы; $q(k) \in Q = \{q \in R^d \mid 0 < q \leq q_{\max}\}$ – вектор неуправляемых воздействий, $u(k) \in R^m$ – вектор управляемых воздействий; структура сети определяется структурой матриц влияния возмущений $E \in R^{N \times d}$, и матриц управлений обработкой заявок $B_t \in R^{N \times m}$, на моменты времени $t = 0, 1, \dots, \Lambda_{\max}$. Матрица внешних возмущений (заявок) $E = \{e_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, N}$ – где $e_{ij} \neq 0$ только тогда, если существует неуправляемый поток спроса q_j на продукцию узла i .

С учетом физического смысла введенных переменных, должны выполняться следующие ограничения:

- 1) переменные, описывающие уровни запаса ресурсов в узлах сети, а также управляемые и неуправляемые потоки должны быть неотрицательными;
- 2) уровни запаса, имеющиеся в наличии, не должны превышать максимальную потребность соответствующих узлов;
- 3) размеры заявок не должны превышать допустимые объемы транспортировок.

Указанные ограничения могут быть представлены в виде выпуклых многогранников в пространстве соответствующей размерности:

$$x(k) \in X = \{x \in R^N \mid 0 \leq x \leq x^+\}, \quad u(k) \in U = \{u \in R^m \mid 0 \leq u \leq u^+\}, \quad (3)$$

где элементы векторов x^+ и u^+ описывают максимальные объемы хранилищ и транспортировок считаются заданными (тепловые мощности, производительности насосов).

Для определения оптимальной стратегии управления запасами необходимо точное задание характеристик внешнего спроса – интенсивности спроса в детерминированных моделях и вероятностных характеристик в стохастических моделях. При решении практических задач эти характеристики, как правило, точно не известны. Поэтому используется подход, предложенный в работе [3], согласно которому предполагается, что сеть поставок функционирует в условиях неизвестного, но ограниченного спроса, который характеризуется нечетким интервалом. Это означает, что каждая компонента спроса $q_k^{om}(T_{нв})$ и $q_j^{zbc}(t, s)$ является нечеткой величиной и зависит от факторов неопределенности (температуры наружного воздуха – $T_{нв}$, времени суток – t , времени года – s), но ее значения принадлежат нечеткому интервалу, границы которого определяются на основании изучения статистики. Тогда к рассмотренным ограничениям добавляется:

$$q(k) \in Q = \{q \in R^d \mid q^- \leq q \leq q^+\}, \quad (4)$$

где векторы q^- и q^+ определяют граничные значения спроса.

Для получения модели сети поставок без запаздываний применяется метод расширения пространства состояний. В результате модель (2) примет вид:

$$\begin{aligned} \zeta(k+1) &= A \cdot \zeta(k) + F \cdot u(k) + G \cdot q(k), \\ x(k) &= C \zeta(k), \end{aligned} \quad (5)$$

где блочно-диагональные матрицы: A – состояний сети, F – управляющих воздействий, G – заявок, формируются соответственно структуре матрицы достижимости, описывающей граф системы. Расширенная модель имеет большую размерность, и после замены базиса вектор состояний примет вид:

$$\zeta^*(k) = [x(k)^T, \cdot u(k-1)^T, u(k-2)^T, \dots, u(k-\Lambda_{\max})^T]^T. \quad (6)$$

Динамика системы (5) эквивалентна динамике системы, вектор состояний которой имеет вид:

$$z^*(k) = [z(k)^T, \cdot u(k-1)^T, u(k-2)^T, \dots, u(k-\Lambda_{\max})^T]^T, \quad (7)$$

где переменные $z(k) \in R^N$ называют фиктивными уровнями запаса и определяют как сумму уровня запаса ресурсов, «находящихся в хранилищах», и ресурсов, которые находятся в процессе транспортировки между узлами сети:

$$z(k) = x(k) + \sum_{t=1}^{\Lambda_{\max}} \hat{B}_t \cdot u(k-t), \quad \text{где } \hat{B}_t = \sum_{i=t}^{\Lambda_{\max}} B_i, \quad i = \overline{1, \Lambda_{\max}}. \quad (8)$$

Полученная система с вектором состояний $\zeta^*(k)$ может быть декомпозирована на две подсистемы. Первая представляет собой модель сети с нулевыми задержками поставок, которая описывается уравнением:

$$z(k+1) = z(k) + B \cdot u(k) + E \cdot q(k), \quad \text{где } B = \sum_{t=0}^{\Lambda_{\max}} B_t. \quad (9)$$

Переменными состояний второй подсистемы являются задержанные управляющие воздействия $u(k-t)$, $t = \overline{1, \Lambda_{\max}}$ расширенной модели сети (5). При этом вторая подсистема является асимптотически устойчивой. Поэтому для анализа и синтеза стратегии управления запасами целесообразно применение «мгновенной» модели распределенной сети поставок (9).

Задача *синтеза системы управления запасами*, являющаяся основной целью работы, состоит в отыскании стратегии управления, которая задает управляемые потоки сети в соответствии с поставленной целью управления и с учетом ограничений (3,4). Множество допустимых начальных условий определяется выражением:

$$X_0 = (\{x: -\delta^- \leq x \leq \delta^+ - B U\} \cap \{x: 0 \leq x \leq x^+\}), \quad (10)$$

где векторы δ^- и δ^+ , определяющие величины наименьшего и наибольшего влияния внешнего спроса, вычисляются следующим образом:

$$\delta^- = \min_{q \in Q} E_i \cdot q, \quad \delta^+ = \max_{q \in Q} E_i \cdot q, \quad (11)$$

где E_i обозначает i -ю строку матрицы E .

Одним из главных вопросов, на которые необходимо дать ответ в процессе анализа, является следующий: существует ли для построенной модели сети поставок допустимая стратегия управления, которая обеспечивает полное и своевременное удовлетворение внешнего спроса при заданных ограничениях. Допустимая стратегия управления существует, согласно теореме [3], если и только если выполняется условие:

$$EQ \subset -BU. \quad (12)$$

Условие (12) выполняется, если существует $\varepsilon > 0$ такое, что $EQ + \varepsilon\Omega \subset -BU$, где $\Omega = \{x: 0 \leq x \leq x^+ - (\delta^+ - \delta^-)\}$. Множество $EQ + \varepsilon\Omega$ представляет собой множество векторов, которые могут быть представлены в виде $x = [E \quad I] \begin{bmatrix} q \\ \varepsilon\omega \end{bmatrix}$, где $q \subset Q, \varepsilon \subset \Omega$.

Тогда множество $EQ + \varepsilon\Omega$ содержится в $-BU$, если и только если условие:

$$x^{ij} = [E \quad I] \begin{bmatrix} q^i \\ \varepsilon\omega^j \end{bmatrix} \in -BU \quad (13)$$

выполняется для каждого $q^i \in \text{vert}\{Q\}$ и $\omega^j \in \text{vert}\{\Omega\}$, где $\text{vert}\{A\}$, обозначает множество вершин многогранника A . Значение ε , удовлетворяющее условию (13), может быть найдено с помощью следующего алгоритма:

- 1) установить $\varepsilon = +\infty$;
- 2) для каждого $q^i \in \text{vert}\{Q\}$ и $\omega^j \in \text{vert}\{\Omega\}$, решить следующую задачу линейного программирования (ЛП):

$$\mu_{ij} = \max \varepsilon, \quad Eq^i + B\varepsilon\omega^j = -Bu, \quad 0 \leq u \leq u^+, \varepsilon \geq 0. \quad (14)$$

Если хотя бы для одного из наборов q^i и ω^j задача (14) не имеет решения, значит для данной модели сети поставок условие (12) не выполняется. В противном случае установить $\varepsilon = \min_{i,j} \{\varepsilon, \mu_{ij}\}$.

- 3) Если $\varepsilon = 0$, то нестрого выполняется условие $EQ \subseteq -BU$, поэтому сходимость последовательности $x(k), k = 0, 1, 2, \dots$ к некоторому оптимальному уровню запасов x^{opt} не гарантируется.
- 4) Если $\varepsilon > 0$, значит условие (12) выполняется.

Если условие (12) выполняется, тогда выбор допустимой стратегии управления для модели сети с нулевыми задержками поставок (9) определяется следующими соображениями. Определяются конструктивные ограничения сети поставок для переменных, определяющих фиктивные уровни запаса:

$$z(k) \in Z = \{z \in R^N \mid z^- \leq z \leq z^+\}. \quad (15)$$

Значения вектора нижней границы z^- должны обеспечивать неотрицательность значений вектора наличного уровня запаса $x(k)$. Тогда из (8) следует, что «минимум» значения вектора нижней границы определяются выражением:

$$z^- = \sum_{i=1}^{\Lambda_{\max}} B_i \cdot u^+. \quad (16)$$

На практике, чтобы обеспечить $x(k) > 0$, накладывается ограничение (16), согласно которому чем выше мощность дуги, которая определяется максимальным объемом транспортируемого теплоносителя, тем выше должна быть нижняя граница. В моделях реальных объектов, чем большими являются мощности управляемых дуг, тем большими могут быть мгновенные объемы отгрузки ресурсов (массы теплоносителя в системах транспортировки), которые невозможно сразу компенсировать из-за наличия запаздываний. Чтобы избежать математического «опустошения складов», понадобятся большие страховые уровни запаса (теплогенерирующие мощности, мощности насосных перекачивающих станций).

Для решения этой проблемы необходимо минимизировать стоимость величины в правой части выражения (16), используя вектор стоимостей производства единицы продукции $C = \{C_i > 0\}, i = 1, N$. Тогда необходимо найти вектор \hat{u}^+ нечетких значений u такой, что $0 \leq \hat{u}^+ \leq u^+$, который минимизирует соответствующую стоимость при выполнении условия $EQ \subset -B\hat{U}$, где $\hat{U} = \{u: 0 \leq u \leq \hat{u}^+\}$.

Это означает, что если управляемые дуги сети не используются в полную силу, то можно заменить в выражении (16) u на \hat{u}^+ чтобы свести к минимуму затраты. Значения вектора определяются путем решения следующей задачи ЛП:

$$\min \left(\sum_{i=1}^{\Lambda_{\max}} B_i \right) \cdot \hat{u}^+, \quad 0 \leq \hat{u}^+ \leq u^+, \quad EQ \subset -B\hat{U}. \quad (17)$$

Тогда векторы, определяющие оптимальную нижнюю и верхнюю границы фиктивного уровня запаса, вычисляются следующим образом:

$$\check{z}^- = \sum_{i=1}^{\Lambda_{\max}} B_i \cdot \hat{u}^+, \quad z^+ = x^+ + \sum_{i=1}^{\Lambda_{\max}} B_i \cdot \hat{u}^+, \quad (18)$$

где \check{z}^- – нечеткое значение нижней границы z . Для организации допустимой стратегии управления, формируемой в виде обратной связи по состоянию $u(k) = \Phi(z(k))$ с учетом ограничений (15), кроме выполнения условия (12), необходимо выполнение условия $\check{z}^- + (\delta^+ - \delta^-) \leq z^+$.

Определение допустимой стратегии управления, гарантирующей полное удовлетворение внешнего спроса $q(k) \in Q$, подразумевает решение на каждом k -м шаге следующей задачи ЛП [5]:

$$u(k) = \Phi(z(k)) = \arg \min_{\lambda \geq 0} \lambda, \quad \bar{z} \leq z(k) + Bu(k) \leq \bar{z} + \lambda\theta, \quad u(k) \in \hat{U}, \quad (19)$$

где $\bar{z} = \check{z}^- - \delta^-$, $\theta = z^+ - \check{z}^- - (\delta^+ - \delta^-)$.

Выводы. Предложенный подход к построению математической модели распределенной сети поставок позволяет учесть запаздывания управляемых потоков и интервальную нечеткость внешнего спроса, что обеспечивает возможность формирования допустимой стратегии управления как стандартной ЛП-задачи.

Литература

1. Питеркин С.В., Оладов Н.А., Исаев С.Н. Практика применения EPR-систем / Питеркин С.В. – Альпина Паблишер, 2003 – 368 с.
2. Daganzo C.A. Theory of Supply Chains. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2003 – p.125.
3. Blanchini F., Rinaldi F., Ukovich W. Least inventory control of multi-storage systems with non-stochastic unknown input // IEEE Transaction on robotics and automation. 1997. Vol. 13, p. 633–645.
4. Hennes, J.-C., A bimodal scheme for multi-stage production and inventory control // Automatica. 2003, № 39, p. 793–805.
5. Дорофеев Ю.И., Никульченко А.А. Анализ распределенных сетей поставок как объектов автоматического управления.—Вісник НТУ «ХПІ»// Збірник наукових праць, тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології».—Харків: НТУ «ХПІ», 2012, Вип.29, с. 15–21.

Bibliography (transliterated)

1. Piterkin S.V., Oladov N.A., Isaev S.N. Praktika primenenija EPR-sistem Piterkin S.V. –Al'pina Pablisher, 2003 – 368 p.
2. Daganzo C.A. Theory of Supply Chains. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2003 – r.125.
3. Blanchini F., Rinaldi F., Ukovich W. Least inventory control of multi-storage systems with non-stochastic unknown input IEEE Transaction on robotics and automation. 1997. Vol. 13, p. 633–645.
4. Hennes, J.-C., A bimodal scheme for multi-stage production and inventory control Automatica. 2003, # 39, r. 793–805.
5. Dorofeev Ju.I., Nikul'chenko A.A. Analiz raspredelennyh setej postavok kak ob"ektov avtomaticheskogo upravlenija.—Visnik NTU «HPI» Zbirnik naukovih prac', tematichnij vipusk «Sistemnij analiz, upravlinnja ta informacijni tehnologii».—Harkiv: NTU «HPI», 2012, Vip.29, p. 15–21.

УДК 681.518.2

Капустенко П.О., Ілюнін О.О., Перевертайленко О.Ю., Селяков О.М., Шамраєв А.А.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛЕНОЇ БІВАЛЕНТНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

У роботі розглянуто систему, що являє собою сукупність взаємопов'язаних об'єктів, що здійснюють виробництво, транспортування і поширення теплоносія. Запропоновано підхід до побудови математичної моделі розподіленої теплової мережі з урахуванням запізнювання керованих потоків і інтервальної нечіткості зовнішнього попиту. Формування допустимої стратегії управління в k -момент часу зводиться до рішення стандартної задачі лінійного програмування.

Карустенко Р.О., Ілунін О.О., Перевертайленко О.Ю., Селяков О.М., Шамраєв А.А.

THE MATHEMATICAL MODEL OF THE DISTRIBUTED A BIVALENT HEAT SUPPLY SYSTEM

The system of a connected objects set that generate, transport and distribute the heat by the heat carrier is discussed. The approach of distributed heating system is proposed taking into account the controlled streams delay and fuzzy intervals of external demand. The generation of permissible strategy management at k -th moment leads to solution of the uniform linear programming problem.

Кузяев И.М., Сытар В.И., Лободенко А.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КОЛЬЦЕВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ

Во многих отраслях промышленности приходится иметь дело с кольцевыми цилиндрическими элементами, на которые воздействуют температурные поля в результате протекания тех или иных технологических процессов. При этом может происходить как их нагревание, так охлаждение. В качестве примеров функционирования таких объектов можно выделить следующие: охлаждение трубных заготовок; работа подшипников скольжения; охлаждение рукавных пленок; течение жидких сред в кольцевых каналах с учетом теплообмена и т.д.

В качестве обобщенной расчетной схемы можно взять трехслойный кольцевой элемент, как показано на рис. 1. При этом температурный процесс будет рассматриваться в цилиндрической системе координат.

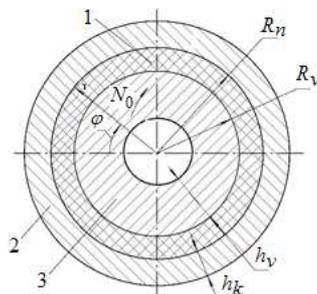


Рисунок 1 – Расчетная схема для моделирования температурных процессов в кольцевых цилиндрических элементах

В качестве примера рассмотрим охлаждение полимерной трубы, получаемой методом экструзии. При этом позиция 1 представляет собой непосредственно полимерную трубу, а позиции 2 и 3 будут соответствовать корпусу и дорну калибрующего устройства.

Принимая допущение о том, что градиент температуры вдоль радиальной координаты намного больше, чем вдоль осевой координаты, а также, предполагая соблюдение симметричности теплового поля вдоль угловой координаты, уравнение теплового баланса для элемента 1 может быть представлено таким образом

$$\rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \cdot \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right), \tag{1}$$

где ρ – плотность материала трубы; C_p, λ – соответственно коэффициенты теплоемкости и теплопроводности полимерного материала.

Если воспользоваться зависимостью времени от осевой координаты в виде $t = z/V_z$ (где V_z – скорость движения трубы), то уравнение (1) может быть переписано таким образом

$$\rho \cdot C_p \cdot V_z \cdot \frac{\partial T}{\partial z} = \lambda \cdot \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right). \tag{2}$$

В данном случае процессами теплообмена в элементах 2 и 3 будем пренебрегать.

Для решения уравнения (1) или (2) необходимо иметь два граничных условия относительно оси r и одно начальное условие по времени t для уравнения (1) или по координате z для уравнения (2). При этом граничные условия следует выбирать в зависимости от типа граничных температурных условий (первого, второго, третьего или четвертого рода).

Для решения уравнения (2) воспользуемся граничными условиями первого рода, а именно

$$T(y, z) = T_n \text{ при } r = R_n; \quad T(y, z) = T_v \text{ при } r = R_v, \tag{3}$$

где T_n – температура внешней поверхности трубы; T_v – температура внутренней поверхности трубы.
Начальное условие для уравнения (2) запишется так

$$T(y, z) = T_p \quad \text{при} \quad z = 0. \quad (4)$$

При решении уравнения (2) воспользуемся интегральным преобразованием Лапласа по координате z [1, 2]. Тогда операторный аналог запишется так

$$\frac{d^2 T^L}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dT^L}{dr} - \frac{s}{a_z} \cdot T^L = -\frac{T_p}{a_z}, \quad (5)$$

где T^L – изображение температуры T ; s – переменная Лапласа; $a_z = \rho \cdot C_p \cdot V_z / \lambda$.

Решение уравнения (5) имеет вид [3]

$$T^L = \frac{T_p}{s} + C_1 \cdot J_0 \left(\sqrt{\frac{s}{a_z}} \cdot i \cdot r \right) + C_2 \cdot Y_0 \left(\sqrt{\frac{s}{a_z}} \cdot i \cdot r \right), \quad (6)$$

где J_0, Y_0 – функции Бесселя соответственно первого и второго рода нулевого порядка; i – мнимая единица; C_1, C_2 – постоянные интегрирования.

Операторный аналог граничных условий (3) запишется так

$$T^L = T_n/s \quad \text{при} \quad r = R_n; \quad T^L = T_v/s \quad \text{при} \quad r = R_v. \quad (7)$$

Подставив граничные условия (7) в уравнение (6) и определив постоянные интегрирования, получим уравнение для температуры в изображениях

$$T^L = \frac{T_p}{s} + \frac{(T_n - T_p) \cdot A1(s, r)}{s \cdot B(s)} + \frac{(T_v - T_p) \cdot A2(s, r)}{s \cdot B(s)}, \quad (8)$$

где $B(s) = J_0(Ar_n) \cdot Y_0(Ar_v) - J_0(Ar_v) \cdot Y_0(Ar_n)$;

$A1(s, r) = J_0(Ar_n) \cdot Y_0(Ar_r) - Y_0(Ar_n) \cdot J_0(Ar_r)$;

$A2(s, r) = Y_0(Ar_v) \cdot J_0(Ar_r) - J_0(Ar_v) \cdot Y_0(Ar_r)$;

$s_z = \sqrt{s/a_z}$; $Ar_n = s_z \cdot i \cdot R_n$; $Ar_v = s_z \cdot i \cdot R_v$; $Ar_r = s_z \cdot i \cdot r$.

Чтобы перейти к оригиналу выражения (8), необходимо найти оригиналы каждого из членов в его правой части. Для первого члену переход от изображения к оригиналу имеет вид

$$\frac{T_p}{s} \rightarrow T_p. \quad (9)$$

Оригиналы для второго и третьего членов можно получить, если использовать вторую теорему разложения и теорему об интегрировании оригинала [2].

Окончательно для распределения температурного поля в трубе можно записать следующее выражение

$$T(r, z) = T_p - 2 \cdot R_{cp} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(T_n - T_p) \cdot A1_k(r) + (T_v - T_p) \cdot A2_k(r)}{P_k \cdot Z_k} \cdot [1 - \exp(-s_k \cdot z)], \quad (10)$$

где

$$A1_k(r) = J_0(bn_k) \cdot Y_0(br_k) - Y_0(bn_k) \cdot J_0(br_k);$$

$$\begin{aligned}
 A2_k(r) &= Y_0(bv_k) \cdot J_0(br_k) - J_0(bv_k) \cdot Y_0(br_k); \\
 Z_k &= -J_1(bn_k) \cdot Y_0(bv_k) \cdot R_n - J_0(bn_k) \cdot Y_1(bv_k) \cdot R_v + \\
 &+ J_1(bv_k) \cdot Y_0(bn_k) \cdot R_v + J_0(bv_k) \cdot Y_1(bn_k) \cdot R_n; \\
 bn_k &= P_k \cdot \frac{R_n}{R_{cp}}; \quad bv_k = P_k \cdot \frac{R_v}{R_{cp}}; \quad br_k = P_k \cdot \frac{r}{R_{cp}}.
 \end{aligned}$$

В последние выражения входит величина P_k , которая представляет собой нули для $B(s)$ из выражения (8), а величина R_{cp} соответствует среднему радиусу элемента 1 по рис. 1.

По разработанной математической модели процесса охлаждения полимерной трубы разработан программный модуль на базе пакета MathCad.

На рис. 2 приведены результаты расчета по формуле (10) с использованием программного модуля для таких параметров: $\lambda = 0,135$ Дж/(м·с·К); $\rho = 810$ кг/м³; $C_p = 2,2$ кДж/(кг·К); $V_z = 0,02$ м/с; $R_n = 47,5$ мм; $R_v = 40$ мм; $T_n = 303$ К; $T_v = 318$ К; $T_p = 443$ К.

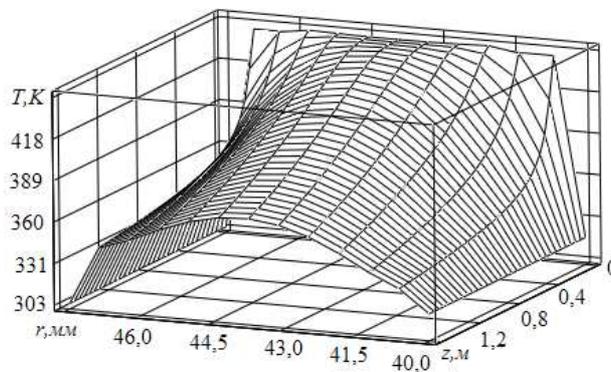


Рисунок 2 – Результаты расчета температурного поля при охлаждении полимерной трубы

Рассмотрим далее теплообмен во вкладыше (втулке) подшипника скольжения, для которого также справедлива расчетная схема согласно с рис. 1.

В данном случае используем уравнение (1).

Для втулки 1 на внутренней границе, вследствие наличия сил трения между ней и валом 3, следует принять температурное условие второго рода, которое можно представить следующим образом

$$\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial r} = q_v \quad \text{при } r = R_v. \quad (11)$$

На наружной границе втулки 1 будем иметь

$$\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial r} = q_n \quad \text{при } r = R_n. \quad (12)$$

В два последних выражения введены такие величины: q_v – тепловой поток на границе раздела элементов 1 и 3; q_n – тепловой поток на границе раздела элементов 1 и 2.

Для определения тепловых потоков можно записать такие выражения

$$q_v = V_c \cdot f_v \cdot \Pi_k - \frac{\lambda_3}{h_v} \cdot [T(R_v, t) - T(R_v - h_v, t)]; \quad (13)$$

$$q_n = -\frac{\lambda_2}{h_v} \cdot [T(R_n, t) - T(R_v + h_c, t)], \quad (14)$$

где f_v – коэффициент трения между втулкой и поверхностью вала; Π_k – давление, развиваемое на границе контакта; λ_3 – коэффициент теплопроводности для элемента 3 на рис. 1; λ_2 – коэффициент теплопроводности для элемента 2 на рис. 1.

Для решения уравнения (1) опять воспользуемся интегральным преобразованием Лапласа [1, 2] с тем лишь различием, что выполним преобразование Лапласа по времени t . При этом операторный аналог будет иметь практически такой же вид, как и выражение (5). Отличие будет лишь в том, что вместо величины a_z следует подставить коэффициент температуропроводности a_T ($a_T = \rho \cdot C_p / \lambda$). Тогда и решение будет совпадать с выражением (6), но, опять же, с заменой a_z на a_T .

Чтобы определить константы интегрирования, следует записать граничные условия в операторном виде для выражений (11) и (12)

$$\lambda_1 \cdot \frac{dT_1^L}{dr} = \frac{q_v}{s} \text{ при } r = R_v; \quad (15)$$

$$\lambda_1 \cdot \frac{dT_1^L}{dr} = \frac{q_n}{s} \text{ при } r = R_n. \quad (16)$$

После подстановки граничных условий в операторном виде (15) и (16) в выражение (6) находим константы интегрирования, с учетом которых соотношение для распределения температуры во втулке 1 в изображении запишется так

$$T^L = \frac{T_p}{s} + \frac{K_{nr} + K_{vr}}{K_{nv}}, \quad (17)$$

где $K_{nr} = q_v \cdot [J_1(ar_n) \cdot Y_0(ar_v) - Y_1(ar_n) \cdot J_0(ar_v)]$;

$K_{vr} = q_n \cdot [Y_1(ar_v) \cdot J_0(ar_v) - J_1(ar_v) \cdot Y_0(ar_v)]$;

$K_{nv} = s \cdot \lambda \cdot i \cdot s_a \cdot [Y_1(ar_n) \cdot J_1(ar_v) - Y_1(ar_v) \cdot J_1(ar_n)]$;

$s_a = \sqrt{s/a_T}$; $ar_n = s_a \cdot i \cdot R_n$; $ar_v = s_a \cdot i \cdot R_v$; $ar_r = s_a \cdot i \cdot r$.

Используя методику, аналогичную той, с помощью которой получен оригинал распределения температурного поля при охлаждении полимерной трубы, то есть уравнение (10), окончательно оригинал для выражения (17) будет иметь вид

$$T_1(r, t) = T_p - \frac{2 \cdot R_v}{\lambda} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{Av_k(r) + An_k(r)}{2 \cdot P_k \cdot B1_k - P_k^2 \cdot B2_k} \cdot f_k(t), \quad (18)$$

где

$Av_k(r) = q_v \cdot [J_1(\psi_{nv}) \cdot Y_0(\psi_{rv}) - Y_1(\psi_{nv}) \cdot J_0(\psi_{rv})]$;

$An_k(r) = q_n \cdot [Y_1(P_k) \cdot J_0(\psi_{rv}) - J_1(P_k) \cdot Y_0(\psi_{rv})]$;

$f_k(t) = Kt_k \cdot t - [1 - \exp(-Kt_k \cdot t)]$;

$B1_k = Y_1(\psi_{nv}) \cdot J_1(P_k) - Y_1(P_k) \cdot J_1(\psi_{nv})$;

$B2_k = R_{nv} \cdot [Y_0(\psi_{nv}) \cdot J_1(P_k) - Y_1(P_k) \cdot J_0(\psi_{nv})] + Y_1(\psi_{nv}) \cdot J_0(P_k) - Y_0(P_k) \cdot J_1(\psi_{nv})$;

$\psi_{rv} = (P_k \cdot r / R_v)$; $\psi_{nv} = (P_k \cdot R_n / R_v)$; $R_{nv} = R_n / R_v$.

Величина P_k , входящая в последние выражения, представляет нули для выражения

$$Y_1(ar_n) \cdot J_1(ar_v) - Y_1(ar_v) \cdot J_1(ar_n) = 0. \quad (19)$$

Полюсы для равенства (19) определяются из выражения $s_k = (a_T \cdot P_k^2) / (R_v \cdot i)^2$.

По разработанной математической модели для анализа распределения температурного поля во вкладышах подшипников скольжения разработан программный модуль на базе пакета MathCad.

Моделирование тепловых процессов в кольцевых цилиндрических элементах также можно найти в работах [4–9].

Литература

1. Лаврентьев М.А. Методы теории функций комплексного переменного / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. – М.: Наука, 1973. – 736 с.
2. Диткин В.А. Интегральные преобразования и операционное исчисление / В.А. Диткин, А.П. Прудников. – М.: Наука., 1974. – 544 с.
3. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям / Камке Э.; пер. с нем. С. Ф. Фомина. – М.: Наука, 1976. – 576 с.
4. Кузьяев И.М. Математическое моделирование процессов в зоне дозирования одночервячных машин / И.М. Кузьяев // Вопросы химии и химической технологии. – 2007. – № 3. – С. 151–172.
5. Кузьяев И.М. Интенсификация процессов теплопереноса в рабочем канале червячных машин при переработке нефтяных полимерных жидкостей / И.М. Кузьяев // Промышленная теплотехника. – 2004. – Т. 26, №1. – С. 25–31.
6. Исследование с помощью математических моделей неизоэнтальных процессов в рабочем объеме червячных машин для термопластичных полимерных композитов с учетом кривизны винтового канала / И.М. Кузьяев, В.И. Сытар, Д.С. Данилин, С.И. Кузьяева // Вопросы химии и химической технологии. – 2005. – № 6. – С. 183–189.
7. Кузьяев И.М. Анализ температурных процессов в подшипниках скольжения с учетом трения / И.М. Кузьяев, В.Н. Анисимов // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2012. – № 1. – С. 27–40.
8. Кузьяев И.М. Моделювання роботи та проектування екструзійних агрегатів з розробкою елементів САПР / І.М. Кузьяев. – 2008, Дніпропетровськ, ДВНЗ УДХТУ, – 474 с.
9. Кузьяев И.М. Розрахунок температурних полів при охолодженні трубних елементів у робочих об'ємах хімічного й теплоенергетичного обладнання / І.М. Кузьяев, І.П. Казіміров, С.С. Беліменко // Вопр. химии и хим. технологии. – 2012. – № 1. – С. 187–192.

Bibliography (transliterated)

1. Lavrent'ev M.A. Metody teorii funkcij kompleksnogo peremennogo / M.A. Lavrent'ev, B.V. Shabat. – M.: Nauka, 1973. – 736 p.
2. Ditkin V.A. Integral'nye preobrazovaniya i operacionnoe ischislenie / V.A. Ditkin, A.P. Prudnikov. – M.: Nauka., 1974. – 544 p.
3. Kamke Je. Spravochnik po obyknovennym differencial'nym uravnenijam / Kamke Je.; per. s nem. S. F. Fomina. – M.: Nauka, 1976. – 576 p.
4. Kuzjaev I.M. Matematicheskoe modelirovanie processov v zone dozirovaniya odnochervjachnyh mashin / I.M. Kuzjaev // Voprosy himii i himicheskoy tehnologii. – 2007. – # 3. – p. 151–172.
5. Kuzjaev I.M. Intensifikacija processov teplomassoperenosa v rabochem kanale chervjachnyh mashin pri pererabotke nen'jutonovskih polimernyh zhidkostej / I.M. Kuzjaev // Promyshlennaja teplotehnika. – 2004. – T. 26, #1. – p. 25–31.
6. Issledovanie s pomoshh'ju matematicheskikh modelej neizotermicheskikh processov v rabochem ob'eme chervjachnyh mashin dlja termoplastichnyh polimernyh kompozitov s uchetoм krivizny vintovogo kanala / I.M. Kuzjaev, V.I. Sytar, D.S. Danilin, S.I. Kuzjaeva // Voprosy himii i himicheskoy tehnologii. – 2005. – # 6. – p. 183–189.
7. Kuzjaev I.M. Analiz temperaturnyh processov v podshipnikah skol'zhenija s uchetoм trenija / I.M. Kuzjaev, V.N. Anisimov // Problemi tribologii (Problems of Tribology). – 2012. – # 1. – p. 27–40.
8. Kuzjaev I.M. Modeljuvannja roboti ta proektuvannja ekstruzijnih agregativ z rozrobkoju elementiv SAPR / I.M. Kuzjaev. – 2008, Dnipropetrovs'k, DVNZ UDHTU, – 474 p.
9. Kuzjaev I.M. Rozrahunok temperaturnih poliv pri oholodzhenni trubnih elementiv u robochih ob'emah himichnogo j teploenergetichnogo obladnannja / I.M. Kuzjaev, I.P. Kazimirov, S.S. Belimenko // Vopr. himii i

him. tehnologii. – 2012. – # 1. – p. 187–192.

УДК 536.24:621.791.55

Кузяєв І.М., Ситар В.І. Лободенко А.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У КІЛЬЦЕВИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

У статті отримано математичні моделі для моделювання процесів теплообміну в кільцевих циліндричних елементах на прикладах процесу охолодження полімерних труб, а також для аналізу розподілу температурного поля у втулках підшипників ковзання. Розроблено програмні модулі на базі математичного пакета Mathcad для моделювання температурних процесів у кільцевих циліндричних елементах.

Kuzyayev I.M., Sytar V.I., Lobodenko A.V.

MODELING OF THERMAL PROCESSES IN CIRCULAR CYLINDRICAL ELEMENTS

In article mathematical models for modeling of processes of heat exchange in circular cylindrical elements on examples of process of cooling of polymeric pipes, and also for the analysis of distribution of a temperature field in plugs of bearings of sliding are received. Program modules on the basis of a mathematical Mathcad package are developed for modeling of temperature processes in exchange in circular cylindrical elements.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В УКРЫТИИ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ, ВЕНТИЛИРУЕМОМ ОДНИМ И ДВУМЯ ВЕНТИЛЯТОРАМИ

Введение. Газотурбинные установки (ГТУ) наземного и морского применения часто располагают в шумо-теплоизолирующих укрытиях, где организуют их внешнее охлаждение вентиляционным воздухом. Течение воздуха обычно обеспечивается с помощью вентилятора, вращаемого асинхронным электродвигателем. В силу особенностей компоновки охлаждающий воздух не может подаваться строго вдоль оси ГТУ и равномерно обтекать её поверхность. Наличие неработающего резервного вентилятора рядом с работающим основным усугубляет эту проблему. Неравномерное обтекание ГТУ охлаждающим воздухом вызывает изгиб её корпуса, обусловленный разностью температур его поверхностей, что может снизить КПД установки из-за изменения радиальных зазоров между статором и ротором и даже заклинить последний. Поэтому актуальна разработка конструкций укрытий ГТУ и систем их вентиляции, обеспечивающих рациональное потокораспределение, необходимое для эффективного внешнего охлаждения ГТУ на различных режимах её эксплуатации.

Традиционно при проектировании систем вентиляции укрытий и внешнего охлаждения ГТУ использовались простейшие математические модели (ММ) теплового баланса, а при доводке – экспериментальные методы. Это обуславливало большие объёмы испытаний, сроки и стоимость опытно-конструкторских работ. В последнее десятилетие, в связи с развитием методов вычислительной аэродинамики (ВАГД), появилась возможность подробного моделирования физических процессов в формулировке краевых задач. Так, авторами работ [1–4] выполнены численные исследования отдельных аспектов, определяющих тепловое состояние укрытий ГТУ, в трёхмерной постановке. В работе [5] предложен обобщённый подход к математическому моделированию теплового состояния укрытий ГТУ методами ВАГД, в рамках которого могут быть решены ранее не решавшиеся частные задачи, в том числе о потокораспределении при различных способах управления расходом вентиляционного воздуха.

Регулирование расхода воздуха в вентиляционных системах можно осуществлять одним из следующих способов [6]:

- изменением проходного сечения при помощи воздушных клапанов (жалюзи);
- отключением части вентиляторов, если в системе их несколько;
- использованием рабочих колес изменяемого шага;
- изменением частоты вращения вентиляторов.

Первые три способа имеют существенные недостатки. Уменьшение проходного сечения при работающих с полной нагрузкой электродвигателях сопровождается значительными энергетическими потерями. Регулирование включением и выключением вентиляторов сокращает их срок службы за счет пиковых электрических нагрузок на сеть и обмотки двигателя и повышенных механических нагрузок на рабочие колеса при пуске двигателей. Колеса изменяемого шага сложны в изготовлении, дороги и недостаточно надежны.

Самым удобным способом регулирования представляется четвёртый, связанный с изменением частоты вращения рабочего колеса. Реализация данного метода осложняется тем, что частота вращения вала асинхронного электродвигателя достаточно жёстко связана с частотой тока в питающей сети. По данной причине изначально не было устройств, позволяющих регулировать частоту вращения данных двигателей. Ситуация существенно изменилась в конце прошлого века с изобретением инверторов, или преобразователей частоты. Эти устройства, созданные на базе мощных полупроводниковых элементов, позволяют изменять частоту тока на выходе, и, следовательно, частоту вращения вала подключенных к ним асинхронных электродвигателей. Возможность плавного изменения расхода воздуха за счет изменения скорости вращения вентиляторов с асинхронными двигателями обеспечила перспективность внедрения инверторов.

Цель настоящей работы – сформулировать постановку частных задач о потокораспределении в укрытии ГТУ, вентилируемом одним и двумя вентиляторами, путём их численного решения методами ВАГД выяснить характер обтекания ГТУ охлаждающим воздухом, на основе чего разработать предложения, направленные на обеспечение эффективного внешнего охлаждения ГТУ на различных режимах её эксплуатации.

Постановка и решение задач о потокораспределении в укрытии ГТУ. Под потокораспределением в укрытии ГТУ будем понимать распределение скоростей вентиляционного воздуха в пространстве и их изменение во времени. Течение воздуха в укрытии ГТУ обусловлено как перепадом статических давле-

ний, создаваемым вентилятором, так и термогравитационным эффектом плавучести. Последнее обстоятельство потребовало при постановке газодинамической задачи о потокораспределении в укрытии ГТУ привлечения обобщённой ММ его теплового состояния, описанной в [5].

С помощью упрощённого варианта обобщённой ММ решены две задачи о вязком квазистационарном трёхмерном турбулентном течении двух однокомпонентных сред переменной плотности (вентиляционного воздуха и выхлопных газов) в проточных частях укрытия и улитки соответственно, отделённых друг от друга и атмосферы непроницаемыми стенками, с учётом смешанного конвективного теплообмена, лучистого теплообмена и теплопроводности через стенки ГТУ при работе одного вентилятора в стандартных атмосферных условиях и двух вентиляторов при высокой температуре атмосферного воздуха. Введение дополнительного допущения о близости теплофизических свойств воздуха и газов позволило исключить из анализа явление их смешения. Учёт того обстоятельства, что массовая доля трёхатомных газов в выхлопных газах меньше массовой доли двухатомных газов на порядок величины, позволил принять дополнительное допущение о диатермичности не только воздуха, но и выхлопных газов. Для замыкания системы уравнений использована модель турбулентности Лаундера–Сполдинга [7], учитывающая силы плавучести. Исходя из дополнительного допущения об относительной малости толщин стенок, твердотельная теплопроводность в них полагалась одномерной. На входах в проточные части укрытия и улитки задавались направление течения, параметры турбулентности, массовые расходы и температуры, на выходах – статическое давление газов. На стенках задавалось условие «прилипания» с использованием эмпирических пристеночных функций в модели турбулентности. На наружной поверхности корпуса ГТУ задавались кусочно-постоянные распределения температуры. На наружных стенках укрытия задавались температура атмосферы и коэффициенты теплоотдачи. Для стенок задавались их толщины, степень черноты поверхности и коэффициенты теплопроводности. Интегрирование континуальных уравнений выполнялось методом контрольного объёма [8]. Уравнение переноса излучения решалось методом дискретных ординат [9]. Относительный подогрев вентиляционного воздуха определялся как отношение фактического подогрева к максимальному.

Результаты численного моделирования (рис. 1,2) показали, что в обеих задачах течение охлаждающего воздуха внутри укрытия имеет сложную несимметричную пространственную структуру с множеством застойных зон. Из рис. 1 видно, что асимметрия течения и количество застойных зон при работе двух вентиляторов меньше, чем при работе одного вентилятора. Воздух, проходя по укрытию и обтекая ГТУ, нагревается от горячих наружных поверхностей её корпуса и облучаемых им деталей и поднимается вверх вследствие термогравитационной конвекции. Аналогичные процессы происходят вокруг улитки.

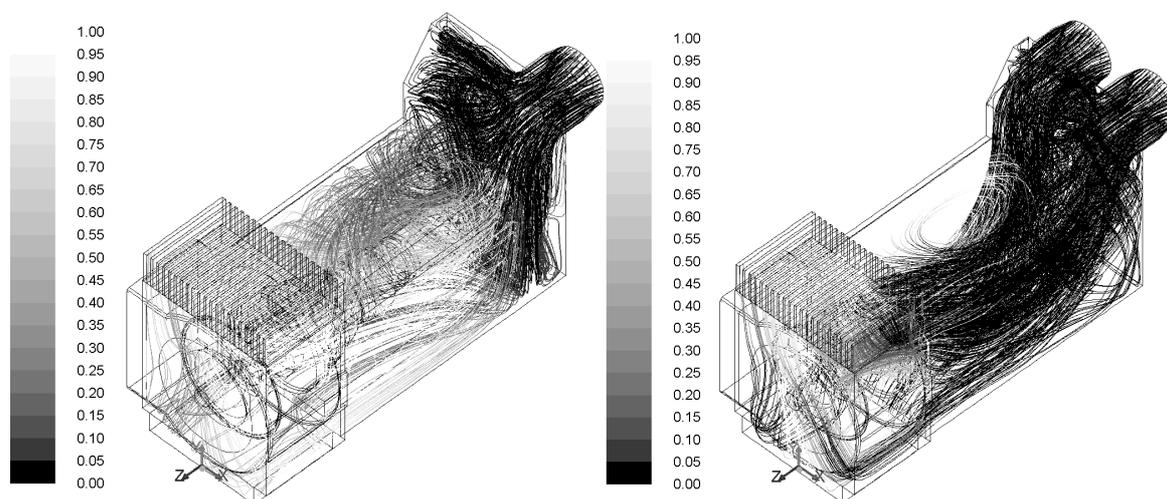


Рисунок 1 – Линии тока вентиляционного воздуха в укрытии ГТУ, окрашенные в соответствии с относительным подогревом воздуха при работе одного (сверху) и двух (снизу) вентиляторов

Из рис. 2 видно, что при работе одного вентилятора скорости воздуха, омывающего ГТУ, имеют максимальные значения в районе корпуса компрессора низкого давления, тогда как при работе двух вентиляторов зона максимальных скоростей смещается по направлению к корпусу компрессора высокого давления. В последнем случае характер обтекания воздухом проставки и корпуса компрессора низкого давления, близок к зеркально симметричному относительно вертикальной плоскости yoZ , проходящей через

ось вращения ротора ГТУ. В целом при работе двух вентиляторов скорости охлаждающего воздуха более равномерно распределены по корпусу ГТУ, чем при работе одного вентилятора.

Выводы. Численное решение двух задач о потокораспределении в укрытии ГТУ, вентилируемом одним и двумя вентиляторами, с использованием упрощенного варианта обобщенной ММ его теплового состояния позволило выяснить условия внешнего охлаждения ГТУ. При работе двух вентиляторов охлаждающий воздух более равномерно обтекает поверхность корпуса ГТУ, чем при работе одного вентилятора. Это снижает риск термических деформаций корпуса ГТУ. Поэтому для обеспечения эффективного внешнего охлаждения ГТУ целесообразно всегда держать два вентилятора постоянно включенными, регулируя инвертором частоту их вращения на различных режимах эксплуатации.

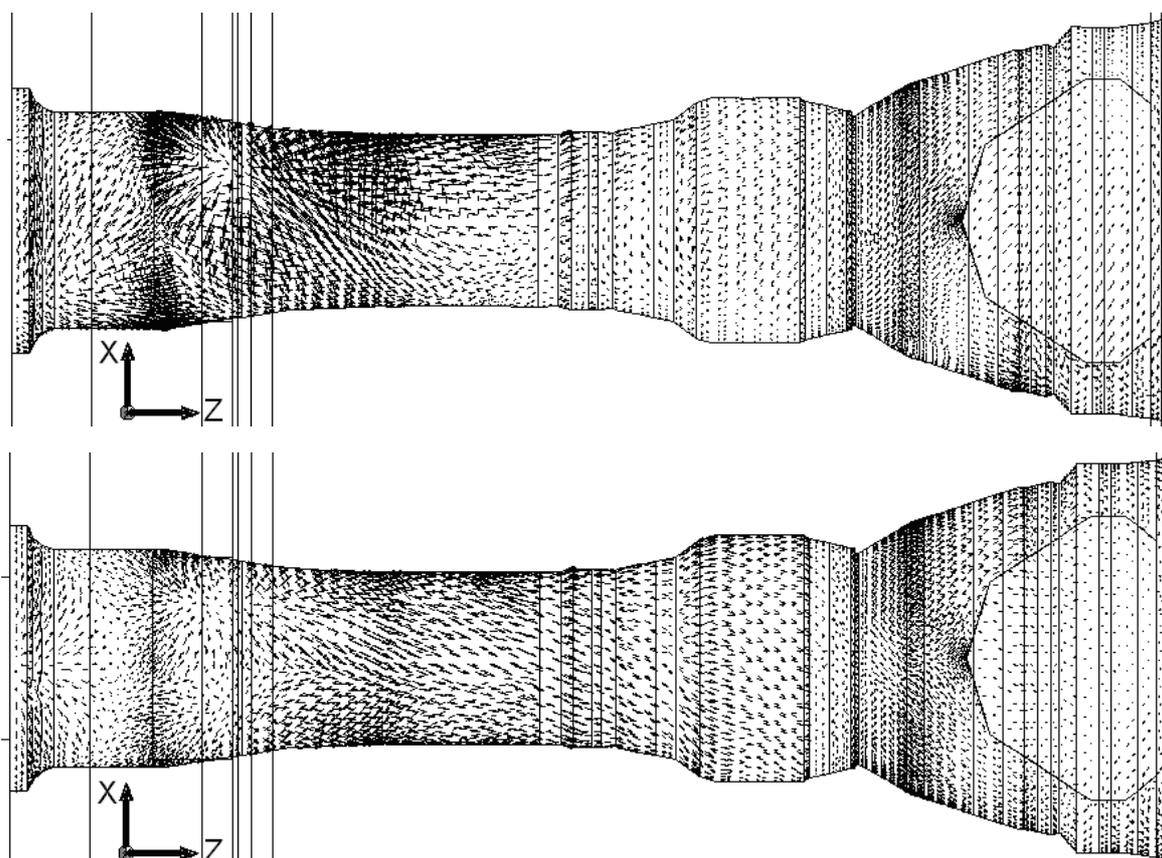


Рисунок 2 – Векторы скорости вентиляционного воздуха, омывающего корпус ГТУ, при работе одного (сверху) и двух (снизу) вентиляторов (вид сверху)

Направления дальнейших исследований автор видит в численном моделировании воздушного и теплового режимов укрытий ГТУ при различных способах управления расходом и потокораспределением вентиляционного воздуха.

Литература

1. Клочков А.В. Обеспечение взрывозащиты газотурбинного оборудования [Текст] / А.В. Клочков, Е.С. Корнилова, А.А. Снитко // Газотурбинные технологии. – 2005. – № 8. – С. 20–22.
2. Results and Experience from Ge Energy's MS5002E Gas Turbine Testing and Evaluation [Text] / M. D'Ercole, G. Biffaroni, F. Grifoni, F. Zanobini, P. Pecchi // ASME TurboExpo 2005. Reno, Nevada, USA. June 6-9, 2005. GT2005-68053. – 9 pp.
3. Месропян А.В. Численное моделирование газодинамики и тепломассопереноса в системе охлаждения бокса ГТД [Текст] / А.В. Месропян, И.И. Мухамедзянова // Вестник УГАТУ. – 2010. – Т. 14, № 1. – С. 25–31.
4. Трусов П.В. Численное моделирование теплового состояния шумотеплозащитного кожуха газотурбинной установки [Текст] / П.В. Трусов, Д.А. Чарнцев // Вестник СамГУ – Естественнонаучная серия. – 2010. – № 4 (78). – С. 117–126.

5. Костюк В.Е. Обобщённая математическая модель теплового состояния укрытий газотурбинных установок [Текст] / В.Е. Костюк, Е.И. Кирилеш, А.Л. Кравчук // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2013. – № 1. – С. 22–26.
6. Авраменко Р.Л. Внедрение частотно-регулируемого привода для вентиляционного и теплообменного оборудования газокomppressorных станций / Р.Л. Авраменко, Р.В. Белянкин, Е.В. Устинов [Текст] // МегаПаскаль. – 2010. – № 5. – С. 28–33.
7. Launder, B.E. Lectures in Mathematical Models of Turbulence [Text] / B.E. Launder, D.B. Spalding. – London: Academic Press, 1972. – 169 p.
8. Лоханский Я.К. Основы вычислительной гидромеханики и тепломассообмена [Текст] / Я.К. Лоханский. – М.: МГИУ, 2008. – 80 с.
9. Суржи́ков С.Т. Тепловое излучение газов и плазмы [Текст] / С.Т. Суржи́ков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 544 с.

Bibliography (transliterated)

1. Klochkov A.V. Obespechenie vzryvozashhity gazoturbinnogo oborudovaniya [Tekst] A.V. Klochkov, E.S. Kornilova, A.A. Snitko Gazoturbinye tehnologii. – 2005. – # 8. – p. 20–22.
2. Results and Experience from Ge Energy's MS5002E Gas Turbine Testing and Evaluation [Text] M. D'Ercole, G. Biffaroni, F. Grifoni, F. Zanobini, P. Pecchi ASME TurboExpo 2005. Reno, Nevada, USA. June 6–9, 2005. GT2005-68053. – 9 pp.
3. Mesropjan A.V. Chislennoe modelirovanie gazodinamiki i teplomassoperenosa v sisteme ohlazhdenija boksa GTD [Tekst] A.V. Mesropjan, I.I. Muhamedzjanova Vestnik UGATU. – 2010. – T. 14, # 1. – p. 25–31.
4. Trusov P.V. Chislennoe modelirovanie teplovogo sostojaniya shumoteplozashhitnogo kozhuha gazoturbinoj ustanovki [Tekst] P.V. Trusov, D.A. Charncev Vestnik SamGU – Estestvennonauchnaja serija. – 2010. – # 4 (78). – p. 117–126.
5. Kostjuk V.E. Obobshhjonnaja matematicheskaja model' teplovogo sostojaniya ukrytij gazoturbinyh ustanovok [Tekst] V.E. Kostjuk, E.I. Kirilash, A.L. Kravchuk Integrirovannye tehnologii i jenergosbe-rezhenie. – 2013. – # 1. – p. 22–26.
6. Avramenko R.L. Vnedrenie chastotno-reguliruемого привода dlja ventiljacionnogo i teploobmen-nogo oborudovaniya gazokompessornyh stancij R.L. Avramenko, R.V. Beljankin, E.V. Ustinov [Tekst] MegaPaskal'. – 2010. – # 5. – p. 28–33.
7. Launder, B.E. Lectures in Mathematical Models of Turbulence [Text] B.E. Launder, D.B. Spalding. – London: Academic Press, 1972. – 169 p.
8. Lohanskij Ja.K. Osnovy vychislitel'noj gidromehaniки i teplomassoobmena [Tekst] Ja.K. Lohanskij. – М.: МГИУ, 2008. – 80 p.
9. Surzhikov S.T. Teplovoe izluchenie gazov i plazmy [Tekst] S.T. Surzhikov. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 544 p.

УДК [517:536]:621.452

Кирилеш О.І.

ЧИСЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКОРОЗПОДІЛУ В УКРИТТІ ГАЗОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ, ЩО ВЕНТИЛЮЄТЬСЯ ОДНИМ І ДВОМА ВЕНТИЛЯТОРАМИ

Сформульовано постановку задач про потокорозподіл в укритті ГТУ, що вентилюється одним і двома вентиляторами. Числове розв'язання двох задач з використанням варіанту узагальненої математичної моделі теплового стану укриття дозволило виявити умови зовнішнього охолодження ГТУ та надати відповідні пропозиції.

Kirilash Ye.I.

NUMERICAL INVESTIGATION OF FLUX-DISTRIBUTION IN GAS-TURBINE ENCLOSURE VENTILATED BY ONE AND TWO FANS

Statement of the problem of flux-distribution in gas-turbine enclosure ventilated by one and two fans is defined. Numerical solution of the two problems using version of the enclosure heat state generic mathematical model made possible to find out the conditions of gas-turbine external cooling and to give appropriate propositions.

ГИДРОДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В ЦИРКУЛЯЦИОННОМ АППАРАТЕ СО СТРУЙНО-ИНЖЕКЦИОННЫМ ГАЗОНАПОЛНЕНИЕМ

Разработка малогабаритных, высокоинтенсивных аппаратов для проведения газожидкостных процессов в пищевой, микробиологической промышленности, а также при очистке воды является актуальной задачей. На сегодняшний момент данные задачи эффективно решены при использовании струйно-инжекционных аппаратов [1–3]. При разработке новых конструкций струйно-инжекционных аппаратов особое внимание уделяется гидродинамике структуры потоков в аппарате, изучение которой позволит определить оптимальные режимы смешения для получения максимальной производительности по целевому компоненту.

Одним из решений поставленной задачи является конструкция циркуляционного аппарата со струйно-инжекционным газонаполнением [4]. В данном аппарате струйно-инжекционный эффект используется для газонаполнения реакционного пространства за счет энергии жидкости. В отличие от известных конструкций [1–3], в предложенном аппарате циркуляция жидкости осуществляется за счет перемешивающего устройства, которое выполняет функции осевого насоса. Данное конструктивное исполнение аппарата позволяет обеспечить высокую кратность циркуляции по жидкой фазе.

Для определения оптимальных режимов работы аппарата использовался метод математического моделирования гидродинамики структуры потоков жидкости. Данный метод широко используется в химической технологии [5–9], позволяет за счет импульсного ввода трассера (дельта-функции, $\delta(t)$) определить дисперсию среднего времени пребывания компонентов в аппарате в зависимости от различных режимов работы.

Рассмотрим структурную схему аппарата (рис. 1). Принимаем, что аппарат включает две диффузионные зоны, которые характеризуются передаточными функциями $W_a(p)$ и $W_c(p)$, и зону идеального смешения $W_b(p)$. Каждая зона имеет входной и выходной сигнал соответственно: $X_a(p)$, $Y_a(p)$ – для зоны $W_a(p)$; $X_b(p)$, $Y_b(p)$ – для зоны $W_b(p)$; $X_c(p)$, $Y_c(p)$ – для зоны $W_c(p)$; $X(p)$, $Y(p)$ – в целом по аппарату.

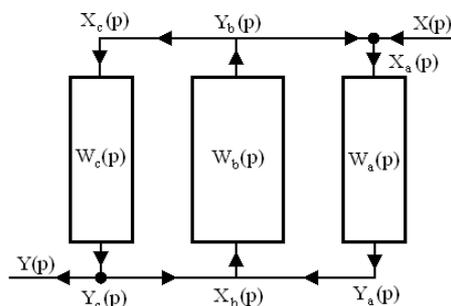


Рисунок 1 – Структурная схема аппарата в операторном виде

Для представленной схемы справедливы следующие зависимости [8]:

$$\left. \begin{aligned} X_a(p) &= Y_b(p) + X(p); X_b(p) = Y_a(p) + Y_c(p); X_c(p) = Y_b(p); Y(p) = Y_c(p); \\ W_a(p) &= Y_a(p)/X_a(p); W_b(p) = Y_b(p)/X_b(p); W_c(p) = Y_c(p)/X_c(p). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Общая передаточная функция по объекту выражается как

$$W(p) = Y(p)/X(p). \quad (2)$$

Из (1) и (2) получим выражение передаточной функции аппарата:

$$W(p) = \frac{W_a(p) \cdot W_b(p) \cdot W_c(p)}{1 - W_b(p) \cdot [W_a(p) + W_c(p)]}. \quad (3)$$

Из зависимости (3) видно, что аппарат включает три последовательно соединенных зоны с обратной связью между центральной зоной и параллельно соединенными боковыми зонами, которые в нашем случае являются реакционными трубами с предположительно диффузионной структурой потока.

Интеграл в правой части уравнения (9) находится по одной из теорем разложения [9]. Второй центральный момент, или дисперсия среднего времени пребывания определяется по формуле

$$\sigma_t^2 = \mu_2 = \int_0^{\infty} (t - \bar{t}) \cdot c(t) dt. \quad (10)$$

После определения экспериментального значения σ_t^2 и подстановки его в формулу (10), находим значение критерия Пекле для диффузионных зон.

Разработанная гидродинамическая модель структуры потоков позволяет определить коэффициенты продольного перемешивания $D_{l,a}$ и $D_{l,c}$ диффузионных зон циркуляционного аппарата со струйно-инжекционным газонаполнением в зависимости от режимов работы. Полученные результаты могут быть использованы при исследовании массопереноса в аппарате.

Литература

1. Яблокова М.А. Гидродинамика и массоперенос при струйном аэрировании жидкостей / М.А. Яблокова, В.Н. Соколов, А.В. Сугак // Теоретические основы химической технологии. –1988. –№ 6. – С.734–739.
2. Соколов В.Н. Аппаратура микробиологической промышленности / В.Н. Соколов, М.А. Яблокова. Л.: Машиностроение. 1988. – 278 с.
3. Агаев К.Э. Совершенствование гидродинамических процессов обработки пищевого сырья в кожухотрубном струйно-инжекционном аппарате: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.12. – СПбГУНиПТ. – Санкт-Петербург, 2012. – 16 с.
4. Ведь В.В. Оптимизация аппаратного оформления стадии аммонизации в производстве комплексных минеральных удобрений / В.В. Ведь, В.Л. Юшко, С.Г. Птицин, В.А. Яриз // Вопросы химии и хим.технол. –2008. –№1. – С. 159–163.
5. Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов / О. Левеншпиль. М.: Химия. 1969. – 624 с.
6. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В.В. Кафаров. М.: Химия. 1976. – 464 с.
7. Коган В.Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии / В.Б. Коган. Л.: Химия. 1977. – 592 с.
8. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии / А.Г. Бондарь. –Киев: Вища школа. 1973. – 280 с.
9. Кафаров В.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств / В.В. Кафаров, М.Б. Глебов. М.: Высш.шк. 1991. – 400 с.

Bibliography (transliterated)

1. Jabloкова M.A. Gidrodinamika i massoperenos pri strujnom azerirovanii zhidkostej M.A. Jablo-kova, V.N. Sokolov, A.V. Sugak Teoreticheskie osnovy himicheskoy tehnologii. –1988. –# 6. – p.734–739.
2. Sokolov V.N. Apparatura mikrobiologicheskoy promyshlennosti V.N. Sokolov, M.A. Jabloкова. L.: Mashinostroenie. 1988. – 278 p.
3. Agaev K.E. Sovershenstvovanie gidrodinamicheskikh processov obrabotki pishheвого syr'ja v kozhuhotrubnom strujno-inzhekcionnom apparate: Avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 05.18.12. – SPbGUNiPT. – Sankt-Peterburg, 2012. – 16 p.
4. Ved' V.V. Optimizacija apparaturnogo oformlenija stadii ammonizacii v proizvodstve kompleksnyh mineral'nyh udobrenij V.V. Ved', V.L. Jushko, S.G. Pticin, V.A. Jariz Voprosy himii i him.tehnol. –2008. –#1. – p. 159–163.
5. Levenshpil' O. Inzhenernoe oformlenie himicheskikh processov O. Levenshpil'. M.: Himija. 1969. – 624 p.
6. Kafarov V.V. Metody kibernetiki v himii i himicheskoy tehnologii V.V. Kafarov. M.: Himija. 1976. – 464 p.
7. Kogan V.B. Teoreticheskie osnovy tipovykh processov himicheskoy tehnologii V.B. Kogan. L.: Himija. 1977. – 592 p.
8. Bondar' A.G. Matematicheskoe modelirovanie v himicheskoy tehnologii A.G. Bondar'. –Kiev: Vishha shkola. 1973. – 280 p.
9. Kafarov V.V. Matematicheskoe modelirovanie osnovnykh processov himicheskikh proizvodstv V.V. Kafarov, M.B. Glebov. M.: Vyssh.shk. 1991. – 400 p.

УДК 66.011

Ведь В.В.

**ГІДРОДИНАМІКА СТРУКТУРИ ПОТОКУ РІДИНИ В ЦИРКУЛЯЦІЙНОМУ АПАРАТІ ЗІ
СТРУМЕНЕВО-ІНЖЕКЦІЙНИМ ГАЗОНАПОВНЕННЯМ**

Розроблена модель гідродинаміки структури потоку рідини в циркуляційному апараті зі струменеві-інжекційним газонаповненням. Показано, що апарат можна поділити на дифузійні зони та зону ідеально-го змішання. Отримана передаточна функція апарату, аналіз якої дозволить визначити вплив поздовжнього змішання на структуру потоку і може бути використана при розрахунку масопереносу в апараті.

Ved` V.V.

**HYDRODYNAMICS STRUCTURE OF THE FLOW LIQUID IN THE CIRCULATION APPARATUS
WITH JET-INJECTION GAS FILLING**

The model of the hydrodynamics structure of the liquid flow in the circulation apparatus with jet-injection gas filling was achieved. It is shown that the apparatus can be divided into the diffusion zone and the perfect mixing zone. The transfer function of the system was defined, the analysis of which will determine the effect of longitudinal mixing on the flow structure and can be used for calculation of mass transfer of the apparatus.

**КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ PDM ПРОТОКОЛА ОБЪЕКТА
ДЛЯ ПРЕДЭСКИЗНОЙ СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ****Основные этапы разработки объекта**

Современный образец ВВТ как объект разработки представляет собой наукоёмкое изделие. При этом потребность в создании нового перспективного образца может быть определена военными специалистами генерального штаба (ГШ) при расширении или появлении новых задач или учёными и разработчиками на основе осознания понимания принципиальной возможности использования передовых достижений науки, техники и технологии для данного класса машин или задач. В обоих случаях необходима разработка нового образца которая начинается с концептуального этапа проектирования, в ходе которого определяют:

- основные задачи и приоритеты;
- ключевые конструктивные показатели;
- потребность в НИОКР;
- технико-экономические показатели;
- целесообразность и сроки разработки.

В результате предэскизного проектирования должен быть выработан документ, определяющий основные показатели перспективного образца, который может конструктивно, технически и технологически осуществлён, и при этом экономически целесообразен – тактико-техническое задание.

Структура основных этапов существующей практики разработки ТТЗ представлена на рисунке 1.

Отметим, что головное КБ (КБ генерального конструктора) олицетворяет собой всю совокупность разработчиков и подрядчиков, участвующих в разработке. Поэтому процедура согласования показателей перспективного образца сложнее, чем представлено на рисунке 1. При этом, на современном этапе практики конструирования в Украине это согласование ведётся «в ручном» режиме, что естественно требует соответствующих затрат времени, а главное принципиально делает невозможным одновременную увязку и коррекцию взаимосвязанных показателей, что характерно для сложных технических систем, каковыми являются все современные образцы ВВТ, в том числе и авиационной.

Для преодоления этих трудностей в системе качества изделий машиностроения ISO 9000 и предусмотрен PDM протокол, через формат которого должен происходить обмен информацией между головными КБ, соисполнителями и субподрядчиками (рисунок 2). Кроме этого создание и применение PDM протокола позволит заказчику непрерывно контролировать показатели финансируемого проекта.

В целом внедрение PDM протокола не изменяет последовательность и методологию проектирования, а позволяет осуществлять контроль и управление проектными показателями в реальном масштабе времени и доступом (участием) всех соисполнителей и даже контролирующих органов заказчика.

Структура PDM протокола

Базовая структура PDM протокола регламентирована гостами ISO (ГОСТ Р ИСО 10303-1-99 “Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными”, ГОСТ Р ИСО 10303-11-2000 “Представление данных об изделии и обмен этими данными”, ГОСТ Р ИСО 10303-203-2003 “Представление данных об изделии и обмен этими данными” (часть 203) Прикладной протокол. Проекты с управляемой конфигурацией). Этими же гостами определены и показатели изделия, которые применительно к объекту ВВТ могут быть интерпретированы в три основные группы (рисунок 3):

- задаваемые;
- назначенные;
- расчетные.

При этом задаваемые проектные параметры определяются заказчиком и не могут быть корректируемы разработчиком в ходе проектирования.

Вторая и третья группы определяются разработчиком в ходе выполнения проекта, уточняются в процессе и взаимосвязаны. Кроме этого, на них влияют и определяют показатели первой группы, как основные, определяющие.

Информация об изделии, формируемая при его проектировании, производстве, эксплуатации, техническом обслуживании и утилизации, используется для решения различных задач в течение жизненного цикла изделия. Данная информация может быть использована во многих вычислительных системах,

включая системы автоматизированного проектирования, расположенные в различных организациях. Для обеспечения этого организациям необходимо иметь возможность представлять информацию о своём изделии в едином проектно-машинно-ориентированном формате, от которого требуется сохранение полноты и совместимости информации при обмене между различными информационными системами.

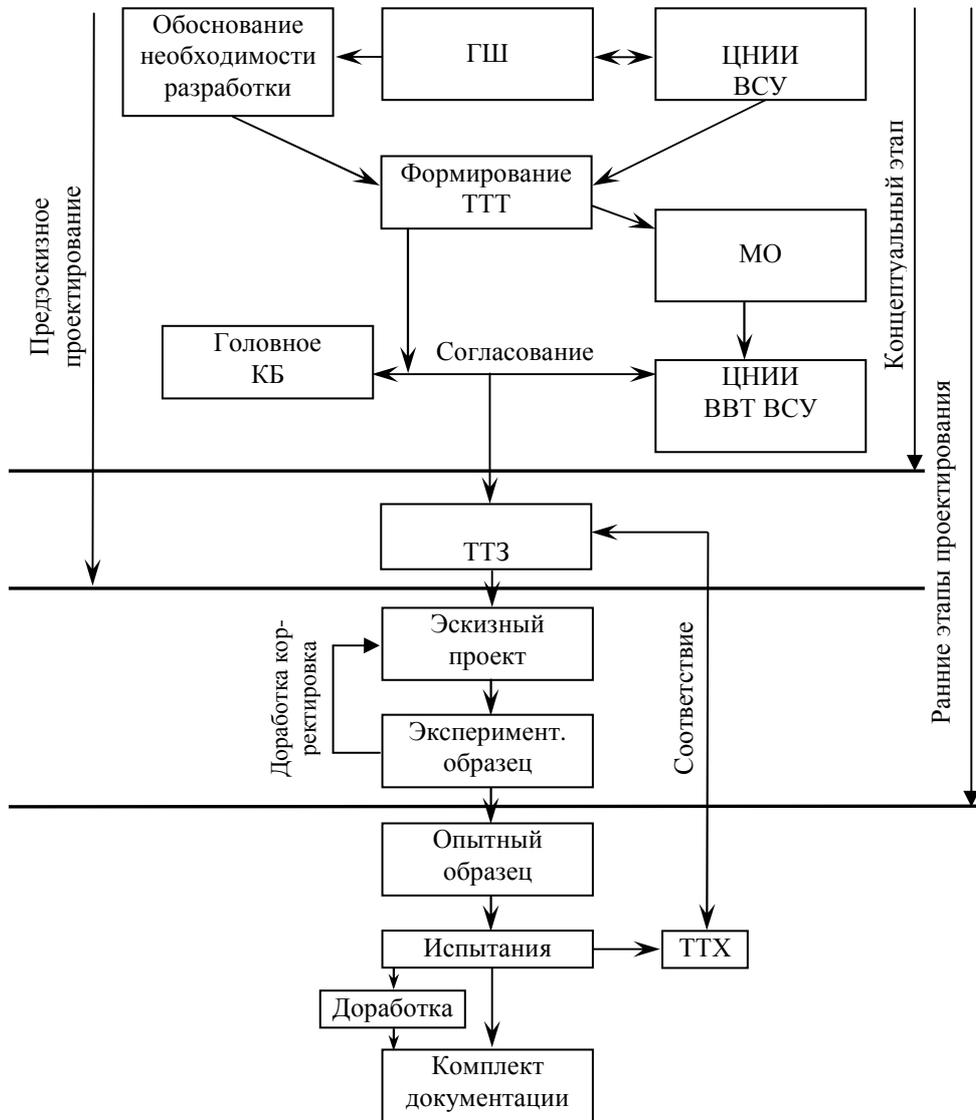


Рисунок 1 – Основные этапы разработки и создания ОВВТ

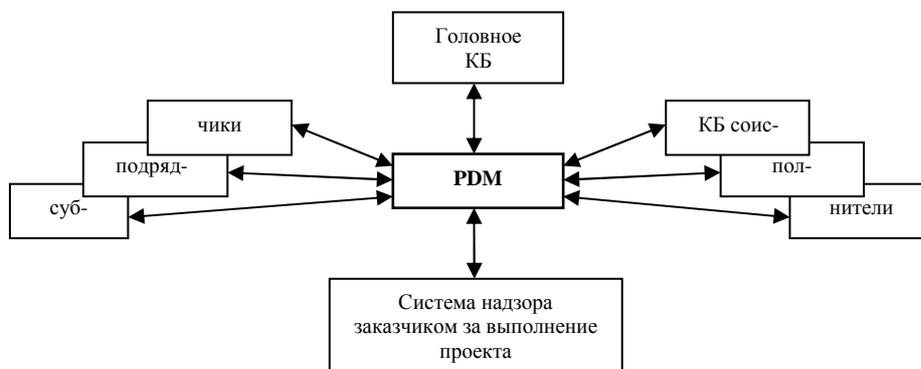


Рисунок 2 – PDM протокол в системе разработки перспективного образца



Рисунок 3 – Структура показателей PDM протокола

Стандарты серии ISO 9000 распространяются на машинно-ориентированное представление данных об изделии и обмен этими данными. Целью является создание механизма, позволяющего описывать данные об изделии на протяжении всего жизненного цикла изделия независимо от конкретной системы. Характер такого описания делает его пригодным не только для обмена инвариантными файлами, но также и для создания баз данных об изделиях, коллективного пользования этими базами и архивации соответствующих данных.

Стандарты серии ISO 9000 устанавливают форму представления информации об изделии вместе с необходимыми механизмами и определениями, которые обеспечивают обмен данными об изделии. Обмен производится между различными вычислительными системами и средами, связанными с полным жизненным циклом изделия, включая его проектирование, производство, эксплуатацию, обслуживание и окончательную утилизацию.

Стандарты определяют:

- представление информации об изделии, включая комплектующие (изделия) и узлы;
- обмен данными об изделии, включая их хранение, передачу, доступ и архивирование.

Целью стандартов серии ISO 9000 является определение формы для однозначного представления машинно-ориентированных данных об изделии и обмена этими данными в течение всей жизни изделия. Данная форма должна быть независимой от любой конкретной вычислительной системы. Данная форма позволяет обеспечить согласованность реализаций между множеством приложений и систем. Стандарты ISO разрешают использование различных методов реализации, применяемых для хранения, доступа, передачи и архивирования данных об изделии.

В стандартах серии ISO способы представления информации об изделии отделяются от способов реализации, используемых для обмена данными.

Способы представления обеспечивают единое представление информации об изделии, общее для многих приложений. Данное единое представление может быть адаптировано для удовлетворения по-

требностей конкретного приложения. Прикладной протокол определяет представление информации об изделии для одного или нескольких приложений.

В стандартах серии ISO установлены способы реализации, которые обеспечивают обмен данными об изделии, определенными в прикладных протоколах.

В стандартах серии ISO описан формальный язык определения данных EXPRESS, который используется для описания представления информации об изделии. Использование формального языка обеспечивает однозначность и согласованность представления, а также упрощает разработку реализаций.

Технические требования (спецификация) представления информации об изделии обеспечиваются набором интегрированных ресурсов. Каждый интегрированный ресурс состоит из набора описаний данных об изделии, называемых структурами ресурсами. При описании один набор может зависеть от других наборов. Сходная информация для различных приложений представляется единой структурой ресурса.

Интегрированные ресурсы разделены на две группы: обобщённые ресурсы и прикладные ресурсы. Обобщённые ресурсы не зависят от приложений и могут содержать ссылки друг на друга. Прикладные ресурсы могут ссылаться на обобщённые ресурсы и расширять другие структуры ресурсов для использования группой однородных приложений. Прикладные ресурсы не ссылаются на другие прикладные ресурсы.

Интегрированные ресурсы определяют обобщённую информационную модель для информации об изделии. Их недостаточно для удовлетворения информационных требований приложений без дополнения конкретными ограничениями, взаимосвязями и атрибутами.

Стандарты серии ISO определяют прикладные протоколы, в которых интегрированные ресурсы интерпретируются для удовлетворения требованиям к информации об изделии со стороны конкретных приложений. Интерпретация (настройка) производится путём выбора соответствующих структур ресурсов и уточнения их значения, установления любых соответствующих ограничений, взаимоотношений и атрибутов. Результатом данного процесса является прикладная интерпретированная модель. Прикладная интерпретированная модель документируется как часть прикладного протокола.

Если структура ресурса используется для представления одинакового информационного требования в различных прикладных протоколах, то должна быть применена одна и та же интерпретация структуры ресурса. Область применения и информационного требования приложения устанавливается в терминологии приложения. Прикладной протокол определяет отображение, показывающее, как используется интерпретация интегрированных ресурсов для удовлетворения информационным требованиям приложения.

Каждый метод реализации, описанный в стандартах серии ГОСТ Р ИСО-10303, устанавливается путём отображения с языка EXPRESS на формальный язык, используемый для данного метода. Отображение независимо от прикладного протокола. Отображение выражается в формальной нотации. В стандартах серии ГОСТ Р ИСО 10303 определены, по крайней мере, три метода реализации.

Прикладной протокол может устанавливать один или несколько прикладных методов реализации, описанных в стандартах ISO. Реализация должна применять к прикладной интерпретированной модели приложения один или несколько методов реализации, установленных в прикладном протоколе.

Соответствие реализации прикладному протоколу устанавливается требованиями к соответствию, заданными в прикладном протоколе.

Набор тестов, устанавливаемых в комплекте абстрактных тестов, определен для каждого прикладного протокола. При переходе к методу абстрактного тестирования данные тесты могут быть использованы для оценки соответствия реализации.

Серия стандартов ИСО делится на шесть групп частей. Каждая группа имеет своё функциональное назначение. В каждую группу может входить одна или несколько частей. Ниже приведен список групп:

- методы описания – части;
- интегрированные ресурсы:
 - 1) обобщённые ресурсы;
 - 2) прикладные ресурсы;
- прикладные протоколы;
- методология и основы аттестационного тестирования;
- комплекты абстрактных тестов;
- методы реализации.

Интегрированные ресурсы представляют структуры ресурсов, которые используются в качестве основы представления данных об изделии. Для удовлетворения информационных требований приложения приводят интерпретацию интегрированных ресурсов.

Інтегровані ресурси забезпечують унікальні представлення кожного елемента інформації в рамках стандартів серії ІСО. Смыслові значення структур ресурсів забезпечуються за допомогою відповідних тестових визначень.

Інтегровані ресурси розділені на логічно пов'язані набори однієї або декількох структур ресурсів. Загальні ресурси незалежні від контексту. Прикладні ресурси можуть бути використані в заданому діапазоні застосувань.

Для усунення можливості дублювання структури загальних ресурсів можуть бути взаємозалежні. Структури прикладних ресурсів можуть посилатися на структури загальних ресурсів.

Прикладний протокол (ПП) включає в себе визначення області застосування, контексту та інформаційних вимог застосування. Визначення можуть визначати функції, процеси або інформацію, які виведені за межі застосування для побудови більш чіткого опису області застосування, контексту та інформаційних вимог. Опис області застосування підтримується прикладною функціональною моделлю (ПФМ), яка описує процеси, інформаційні потоки та функціональні вимоги застосування. ПФМ входить в прикладний протокол як інформаційне застосування.

Інформаційні вимоги та обмеження прикладного контексту визначаються за допомогою набору функціональних одиниць та прикладних об'єктів з використанням проблемно-орієнтованої термінології. Данне визначення виходить з прикладної еталонної моделі (ПЕМ). ПЕМ є формальною інформаційною моделлю, документуваною в вигляді інформаційного застосування до прикладного протоколу.

Структури ресурсів для представлення інформаційних вимог застосування встановлюються в прикладній інтерпретованій моделі (ПІМ). ПІМ будується на основі структур ресурсів, визначених інтегрованими ресурсами. Структури ресурсів інтерпретуються, щоб задовольнити прикладні вимоги в межах визначеного контексту та області застосування ПП.

Будується зображення з інформаційних вимог на ПІМ. Данне зображення визначає застосування в межах ПІМ структур ресурсів, отриманих з інтегрованих ресурсів, для представлення інформаційних вимог застосування.

ПП не залежить від методів реалізації. Однак ПП може включати в себе конкретну інформацію про методи реалізації як обов'язкове застосування. ПП містить таблицю скорочених найменувань, яка використовується методом реалізації структури обміну для кодування імен об'єктів ПП.

В прикладний протокол включають вимоги відповідності, якими повинна задовольняти будь-яка реалізація, претендуюча на виконання вимог ПП. Вимоги відповідності відображають можливості, установлені в ПП, і можуть бути конкретизовані в методах описання, методах реалізації або в наборах прикладних протоколів, описаних в стандартах серії ISO 9000.

Базовий протокол

Базовий протокол об'єкта ґрунтується на переліку основних показників ТТХ об'єктів. Протокол розроблявся в середовищі EXEL, при цьому вся сукупність об'єктів розділяється на групи: так, для бронетехніки це танки, БМП і БТР, а для авіації – самоліти та вертоліти.

Для кожної групи базовий протокол включає більше 200 показників. Загальною можна сказати, що структурно протокол складається з двох моделей: переліку показників та розрахунково-аналітичного модуля. Слід особливо підкреслити, що як перший, так і другий структурні елементи є відкритими системами, що дозволяють розширювати їх як за кількістю зразків, так і за кількістю показників при появі нових властивостей об'єкта.

Застосування програмного забезпечення, до якого входить система електронних таблиць EXEL робить розроблений продукт доступним всім користувачам. Автоматизація розрахунків та заповнення комірок розрахунковими даними здійснюється в діалоговому режимі, з урахуванням змін, викликаних взаємним впливом в СТС і тим самим урахуванням прямих та зворотних зв'язків між елементами та підсистемами.

Робоче вікно базового протоколу об'єкта бронетехніки представлено на рис. 4.

База даних для літальних апаратів транспортного призначення включає більше 200 базових одиничних та удільних показників. На їх основі розраховуються комплексні показники, після чого здійснюється побудова діаграм та заповнення таблиць відображуваних показників.

На рис. 5 представлено робоче вікно бази даних ТТХ літальних апаратів транспортного призначення.

База даних раціональних показників включає перелік показників, розроблений для проведення експертного аналізу.

Следует отметить, что как базы данных (объектов бронетехники и летательных аппаратов), так и расчетно-аналитический модуль являются открытыми системами, и позволяют расширяться как по числу образцов, так и по количеству показателей ТТХ при выявлении новых свойств объектов.

Автоматизация вычислений позволяет проводить анализ в диалоговом режиме путем варьирования показателей и анализа влияния этих вариаций как на базовые единичные показатели, так и на удельные, комплексные и интегральные, что позволяет проследить изменения на иерархических уровнях сложной технической системы и тем самым учесть прямые и обратные связи между элементами и подсистемами.

Общие:		История изготовления по лицензиям в других странах	Год принятия на вооружение	На вооружении в странах						
Украина										
Вес и габариты:		Боевой вес, т	Сухой вес, т	Экипаж, чел.	Длина (с пушкой вперед), м	Длина (с пушкой назад), м	Длина корпуса, м	Ширина, м	Высота по пр.	
		49,5		3	9,72	9,75	7,685	3,4		
Эксплуатационные характеристики:		Макс. скорость на передаче х км/ч	Ср. скорость на высоте х км/ч	Запас хода по DIN 7030, км	Запас топлива, л	Расход топлива (по дорожке) по DIN 7030, л/100км	Угол подъема, град.	Угол крена, град.	Высота пред. стены, м	Ширина пред. стены, м
		70	30	45	400	1200	300	30	25	1
Основное вооружение:		Высота линии огня, м	Калибр пушки, мм	Длина ствола (калибра)	Марка пушки	Экспорт/дублирующая марка	Тип затвора (гориз./верт.)	Тип патрона (гориз./верт.)	Длина ствола	
			120		50 КБА-101 или КБМЗ					

Рисунок 4 – Рабочее окно базового протокола объекта

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ		Країна	Прим-я	Експл.	р/Ф	Н/Ф	В/Ф	В/Ф	В/Ф
142	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
143	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
144	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
145	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
146	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
147	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
148	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
149	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
150	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
151	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
152	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
153	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
154	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
155	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
156	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
157	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
158	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
159	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
160	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
161	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
162	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
163	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
164	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
165	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
166	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
167	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
168	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
169	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
170	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
171	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
172	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
173	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР
174	Сирія	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР	СР

Рисунок 5 – Рабочее окно базы данных «Летательный аппарат транспортного назначения» (Вертолеты)

ПРОБЛЕМНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕРОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПОРОХОВОГО ЗАРЯДА РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА СНАРЯДОВ РЕАКТИВНЫХ БОМБОМЕТНЫХ УСТАНОВОК И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ИХ РЕШЕНИЯ

Введение. В течение последних 10–15 лет в Украине проводятся системные научные и научно-исследовательские работы, задачей которых является определение степени влияния сроков хранения на баллистические характеристики артиллерийских боеприпасов [1–3]. Однако предметом исследования этих работ являются метательные пороховые заряды раздельно-гильзового заряжания и унитарные патроны. Работ по исследованию пороховых зарядов (ПЗ) реактивных двигателей твердого топлива (РДТТ) в доступных источниках не обнаружено.

Реактивные снаряды с твердотопливными двигателями широко используются в противолодочном вооружении Военно-Морских Сил Вооруженных Сил Украины. Здесь можно отметить такое вооружение, как реактивные глубинные бомбы (РГБ-60 и РГБ-12) и реактивные гранаты РГ-55.

В современных условиях основным назначением перечисленного реактивного оружия является обслуживание ближней зоны противолодочной обороны – “мертвой зоны” – которая недоступна при применении противолодочного ракетного оружия и торпед, а так же борьбы с подводными диверсантами и средствами их транспортировки.

Однако в настоящее время состояние арсенала реактивных глубинных бомб в ВМС ВС Украины характеризуется длительными, существенно превышающими гарантийные сроками эксплуатации (хранения). В Украине не имеется ни одного завода, специализирующегося на производстве реактивных глубинных бомб. Отсутствие производства реактивных бомб привело к тому, что в настоящее время в эксплуатации находятся боеприпасы, время хранения которых достигает 25–40 лет, а для некоторых партий превышает и эти сроки. В связи с этим возникает проблема в применении РГБ с геронтологическим изменением ПЗ РДТТ и исследовании ПЗ боеприпасов с длительными сроками хранения и влияния изменения их физикохимических свойств на баллистические характеристики.

Определение геронтологических изменений свойств РДТТ реактивных глубинных бомб

Проанализировав сроки эксплуатации реактивных глубинных бомб, хранящихся на территории Украины, становится понятно, что у 77% сроки хранения превышают 30 и достигают 50 лет, а учитывая то, что согласно требований руководящих документов по проверкам качества РДТТ противолодочного вооружения срок с момента изготовления порохов до первичных лабораторных испытаний устанавливается продолжительностью до 18 лет, возникает проблема в дальнейшем использовании РГБ без учета поправок на геронтологические изменения порохового заряда РДТТ.

Изменяющиеся с течением времени свойства порохов приводят к изменению параметров баллистических и боевых характеристик реактивных снарядов [3].

Изменение свойств порохового заряда твердотопливного двигателя РГБ длительного срока хранения может привести к изменению дистанции приводнения и параметров эллипса рассеивания бомб, что, в свою очередь, может быть настолько значительно, что приведет к перерасходу боеприпасов или вообще к невыполнению боевой задачи. Этим обстоятельством обусловлена необходимость разработки практических и методических рекомендаций по учету степени геронтологических изменений пороховых зарядов РДТТ реактивных глубинных бомб в процессе их боевого применения путем внесения поправок при подготовке к стрельбе.

Известно, что рассеивание реактивных снарядов в десятки, а иногда и в сотни раз превосходит рассеивание артиллерийских орудийных снарядов [4]. Поэтому основной проблемой для реактивных снарядов длительных сроков хранения является существенный недостаток.

Решение этой задачи с практической достоверностью не представляется возможным без экспериментальных исследований [11]. Необходимо проведение исследования зависимости максимального и минимального недостатков от времени хранения реактивных снарядов. Определения граничного срока хранения, при котором недостатки реактивных снарядов превышают рассеивание в 1 % и 3 %.

Отсутствие систематических опытовых стрельб, а также полных и достоверных данных результатов практических бомбовых стрельб не позволяет эмпирическими методами определить оценку влияния изменяющихся баллистических характеристик на эффективность боевого применения РГБ. Поэтому задача

может быть решена путем совместного использования результатов теоретических исследований и пассивного эксперимента – имеющихся данных о стрельбе РГБ различных сроков хранения.

Определение соотношения для зависимостей максимального и минимального недолетов при стрельбе реактивными глубинными бомбами от времени их хранения в диапазоне 29-41 год

С целью получения данных по определению влияния геронтологического изменения пороховых зарядов РДТТ реактивных глубинных бомб была поставлена задача осуществления такого анализа без разборки двигателя и определения физико-химических свойств топлива физико-химическими методами.

На основе обзора и анализа работ по определению состояния порохов [5, 6] были выделены доступные методы, позволяющие ответить на принципиальный вопрос об изменении свойств порохового заряда.

К ним относятся изменение плотности пороха – основного показателя, а, следовательно, и массы заряда; изменение цвета пороховых элементов, состояние их поверхности, хрупкость; скорость горения на открытом воздухе.

Все это приводит к увеличению скорости горения и соответственно уменьшению времени горения порохового заряда.

В [7] приведены основные факторы, оказывающие влияние на процесс горения порохового заряда РДТТ. Из-за того, что давление пороховых газов в канале ствола больше, чем в камере РДТТ, закон скорости горения пороха в камере РДТТ будет иным, чем в канале ствола. Так как в камере реактивного снаряда порох горит при почти постоянном давлении, то, зная время сгорания пороха τ , при известном среднем давлении $p_{ср}$ представляется возможным найти переменный коэффициент uI .

В период с 1996 по 2012 год в ВМС ВС Украины в ходе боевой подготовки проводился ряд практических стрельб реактивными глубинными бомбами различных сроков хранения. Учитывая то, что постановка специальных экспериментов требует значительных затрат как временных, так и материальных ресурсов, было признано целесообразным использовать метод исследования в виде косвенного эксперимента, то-есть на основе имеющихся данных о выполненных стрельбах РГБ оценить изменяющиеся баллистические характеристики.

Эксперименту подвергались реактивные глубинные бомбы (РГБ-60 и РГБ-12) двигатели, которых представляет собой заряды нитроглицеринового пороха РСИ-60 и ФСГ-2, находящимися на хранении в интервале от 29 до 41 года.

Исследования проводились с целью определения:

состояния основных пороховых зарядов, находящихся на хранении 30 и более лет;

соответствия баллистических характеристик РГБ табличным значениям.

Проведение косвенного экспериментального исследования включало следующие основные этапы:

обзор и анализ исходных данных для стрельбы РГБ;

обследование состояния и подготовка реактивных бомб, сроки эксплуатации (хранения) которых находились в диапазоне 29–41 год, к стрельбе;

проведение стрельб с использованием реактивных бомб выбранной партии для определения максимального и минимального недолетов;

фиксация контрольных параметров и результатов стрельб.

Результаты стрельб были взяты из Отчетов о проведении стрельб реактивными глубинными бомбами [8, 9].

В ходе обработки данных установлены минимальный и максимальный недолеты для соответствующих сроков хранения реактивных бомб.

Анализ результатов стрельбы проводили определяя разность между заданной (D) и фактически зафиксированной ($D_{стр}$) дистанциями стрельбы реактивными глубинными бомбами:

$$\Delta D = D - D_{стр} .$$

С целью решения задачи введения коррекции в исходные данные при стрельбе РГБ длительных сроков хранения было признано целесообразным построить зависимости максимальных и минимальных недолетов от времени хранения РГБ. Проанализировав данные стрельб РГБ, были построены зависимости для интервала срока хранения от 29 до 41 года (рис. 1). На этом же рисунке представлены ΔD , соответствующие рассеиванию в 1 % и 3 % от дальности стрельбы при стрельбе на 1200 м. Отметим, что область между линиями ΔD_{max} и ΔD_{min} определяет диапазон недолетов для соответствующего срока хранения.

Анализ зависимости минимального и максимального недолетов от времени хранения боеприпасов показывает, что все выстрелы РГБ характеризуются недолетами. Для партии со сроком хранения 41 год величина недолетов лежит в диапазоне от 17 до 64 м. В [10] приведена площадь накрытия РГБ при залповой стрельбе в виде эллипса с осями 70 и 150 м. Так же указано максимальное расстояние между бомбами эллипса для срабатывания всего залпа (50 м.).

Принимая во внимание все эти обстоятельства и то, что для реактивных снарядов вообще, и РГБ в частности, рассеивание составляет величину порядка 1 % от дальности, показатели стрельбы боеприпасов длительного хранения следует считать такими, что требуют коррекции исходных данных при подготовке стрельбы и их применения по назначению. При этом для 25 % выстрелов ΔD составляет величину более 5 % от D , для 37,5 % – от 3 до 5 % , а для 37,5 % менее 3 % от D . Таким образом, можно заключить, что у 60 % РГБ, срок хранения которых составляет 41 год, наблюдается недолет, превышающий 3 % дальности стрельбы.

Если принять во внимание размеры типовой цели типа «подводная лодка» и эллипса при залповой стрельбе, то можно отметить, что все РГБ залпа будут лежать как минимум на 8–10 метров с недолетом от допустимого рассеивания в 1 %. Кроме этого, с увеличением диапазона недолетов следует ожидать увеличения площади эллипса и расстояний между точками падения РГБ в воду, что в свою очередь снизит степень воздействия на ПЛ, поскольку при массе ВВ в тротиловом эквиваленте 100 кг глубинная бомба имеет радиус поражения ПЛ 6–7 м.

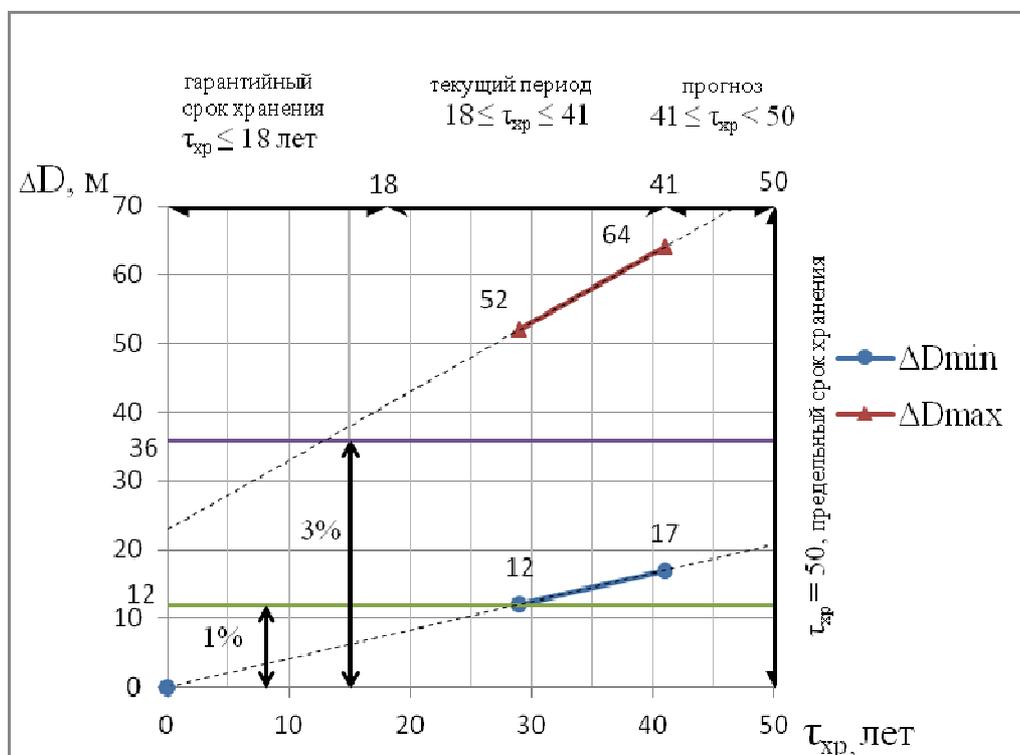


Рисунок 1 – График зависимости недолетов РГБ от сроков их хранения

1 % и 3 % – рассеивание реактивных глубинных бомб; $\tau_{хр} \leq 18$ лет – гарантийный срок хранения; $18 \leq \tau_{хр} \leq 41$ – текущий период; $41 \leq \tau_{хр} < 50$ – оптимистический прогноз; $\tau_{хр} = 50$ предельный срок хранения

Величина максимального недолета превысит 70 м, что превышает меньший диаметр эллипса разброса РГБ. Таким образом, с учетом того, что, как видно из приведенного графика, интенсивность роста максимального недолета выше, следует ожидать, что более половины бомб залпа вообще не попадут в расчетный эллипс.

Проведя анализ можно сделать вывод, что все эти данные составляют ту основу, на базе которой можно проанализировать зависимость влияния геронтологического изменения ПЗ РДТТ на дистанцию стрельбы РГБ и в дальнейшем подобных боеприпасов вообще.

Таким образом, достижение требуемой эффективности применения бомбового оружия обуславливает необходимость внесения поправок на недолет реактивных глубинных бомб в исходные данные при подготовке стрельбы и коррекцию методов их боевого применения.

Обозначения

РГБ – реактивная глубинная бомба; РГ – реактивная граната; ПЗ – пороховой заряд; РДТТ – реактивный двигатель твердого топлива; ВМС ВС Украины – Военно-Морские Силы Вооруженных Сил Украины.

Литература

1. Анипко О.Б., Баулин Д.С., Бирюков И.Ю. Влияние длительности хранения боеприпасов на баллистические характеристики стрелкового оружия / Интегровані технології та енергозбереження. Х.: Изд-во НТУ “ХПІ”, 2007. – №2, С. 97–100.
2. Бирюков И.Ю. Пороховые заряды длительных сроков хранения: проблемы, задачи и пути их решения // Интегровані технології та енергозбереження. – Х.: 2006. – №2. –С.50–55.
3. Анипко О.Б., Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения / О.Б. Анипко, Ю.М. Бусяк. – Харьков: Изд-во академии внутр. войск МВД Украины, 2010. – 130 с.
4. Гантмахер Ф.Р. Внешняя баллистика неуправляемых реактивных снарядов / Ф.Р. Гантмахер, Л.М. Левин. – Центральный Аэро-гидродинамический институт имени Н.Е. Жуковского, 1949 г., 308 с.
5. Веннен Л. Пороха и взрывчатые вещества / Л. Веннен, Э. Бюрло, А. Лекорше. Пер. с фран. – М.: ОНТИ, 1936. – 652 с.
6. Бахман Н.Н., Горение гетерогенных конденсированных систем / Н.Н. Бахман, А.Ф. Беляев – Москва: Изд-во «Наука», 1967 г., 228 с.
7. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. – М.: Оборонгиз, 1962. – 703 с.
8. Формалізований звіт по бойовій вправі ПТЗ-2 від 11.09.2011 р., 5 с.
9. Формалізований звіт по бойовій вправі ПТЗ-2 від 14.03.2011 р., 9 с.
10. ПМС № Г-120. Реактивные глубинные бомбы РГБ-12 и бомба-ориентир «Свеча-12». Описание и правила обращения, 1983 г, 25 с.
11. Анипко О.Б., Больших А.А. Экспериментальное исследование дальности стрельбы реактивными глубинными бомбами длительных сроков хранения / Сбірник наукових праць АВМС імені П.С. Нахімова, м. Севастополь, 2012 – вип. 4(12). – С. 26–29.

Bibliography (transliterated)

1. Anipko O.B., Baulin D.S., Birjukov I.Ju. Vlijanie dlitel'nosti hranenija boeprapasov na balli-sticheskie harakteristiki strelkovogo oruzhija Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. H.: Izd-vo NTU “HPI”, 2007. – #2, p. 97–100.
2. Birjukov I.Ju. Porohovye zarjady dlitel'nyh srokov hranenija: problemy, zadachi i puti ih reshenija Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – H.: 2006. – #2. –p.50–55.
3. Anipko O.B., Vnutrennjaja ballistika stvol'nyh sistem pri primenennii boeprapasov dlitel'nyh srokov hranenija O.B. Anipko, Ju.M. Busjak. – Har'kov: Izd-vo akademii vnutr. vojsk MVD Ukrainy, 2010. – 130 p.
4. Gantmaher F.R. Vneshnjaja ballistika neupravljajemyh reaktivnyh snarjadov F.R. Ganmaher, L.M. Levin. – Central'nyj Ajero-gidrodinamicheskij institut imeni N.E. Zhukovskogo, 1949 g., 308 p.
5. Vennen L. Poroha i vzryvchatye veshhestva L. Vennen, Je. Bjurlo, A. Lekorshe. Per. s fran. – M.: ONTI, 1936. – 652 p.
6. Bahman N.N., Gorenje geterogennyh kondensirovannyh sistem N.N. Bahman, A.F. Beljaev – Moskva: Izd-vo «Nauka», 1967 g., 228 p.
7. Serebrjakov M.E. Vnutrennjaja ballistika stvol'nyh sistem i porohovyh raket. – M.: Oborongiz, 1962. – 703 p.
8. Formalizovaniy zvit po bojovoї vpravі PTZ-2 vid 11.09.2011 r., 5 p.
9. Formalizovaniy zvit po bojovoї vpravі PTZ-2 vid 14.03.2011 r., 9 p.
10. PMS # G-120. Reaktivnye glubinnye bomby RGB-12 i bomba-orientir «Svecha-12». Opisanie i pravila obrashhenija, 1983 g, 25 p.
11. Anipko O.B., Bol'shih A.A. Jeksperimental'noe issledovanie dal'nosti strel'by reaktivnymi glubinnymi bombami dlitel'nyh srokov hranenija Sbirnik naukovih prac' AVMS imeni P.S. Nahimo-va, m. Sevastopol', 2012 – vip. 4(12). – p. 26–29.

УДК 623.955

Аніпко О.Б., Больших О.О.

ПРОБЛЕМНІ ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ GERONTOLOGIЧНОЇ ЗМІНИ ПОРОХОВОГО ЗАРЯДУ РЕАКТИВНОГО ДВИГУНА ТВЕРДОГО ПАЛИВА РЕАКТИВНИХ СНАРЯДІВ БОМБОМЕТНЫХ УСТАНОВОК ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ ДЛЯ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Встановлені співвідношення для залежностей максимального і мінімального недолетів при стрільбі реактивними глибинними бомбами від часу їх зберігання в діапазоні 29–41 рік. Також встановлено, що після 29 років зберігання все РГБ залпу при стрільбі характеризуються недолетами. Абсолютні розміри недолету перевищують розсіювання по дальності як 1 %, так і в 3 % і в порівнянні з розмірами еліпса падіння РГБ залпу.

Anipko O.B., Bol'shich A.A.

PROBLEM RESEARCH GERONTOLOGICAL CHANGES PROPELLANT JET ENGINE SOLID FUEL ROCKETS BOMBING FACILITIES AND EXPERIMENTAL DATA FOR THEIR SOLUTION

Set the ratio for the dependences of the maximum and the minimum is not reached by firing rocket-depth charges from the time of their storage in the range 29–41 year. After 29 years of storage all of the RDB shots when shooting are characterized by undershoot. Absolute dimensions undershoot exceed scattering in the range of 1 %, and in 3 %, and in comparison with the size of the ellipse fall of the RDB volley.

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОХОВОГО ЗАРЯДА И НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ БОЕПРИПАСОВ МОРСКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ КАЛИБРОВ 25/80 И 30/54

В основе метательных зарядов выстрелов ствольных систем артиллерийского вооружения лежат пироксилиновые пороха, физические, химические, а, следовательно, и баллистические свойства которых изменяются со временем. Ранее, путем проведения плановой ротации, избегали влияния таких изменений. На современном этапе эксплуатируются боеприпасы, которые были произведены 25 и более лет назад, поэтому проявления геронтологических изменений порохов на баллистические характеристики неизбежны.

В условиях вынужденной эксплуатации послегарантийных боеприпасов прогнозирование изменений в свойствах порохов метательных зарядов боеприпасов в зависимости от сроков их хранения представляется важной научно-прикладной и военно-технической задачей.

Анализ литературы [1–6] показывает, что в последнее время появилось значительное количество публикаций как отечественных, так и зарубежных исследователей, посвященных проблеме усовершенствования методов определения предельного срока службы (хранения) боеприпасов и вытекающей из нее задачи разработки научно-обоснованной модели эксплуатации боеприпасов длительных сроков хранения. Однако теоретических и экспериментальных методов применительно к унитарным артиллерийским боеприпасам малого калибра в доступных источниках не обнаружено. Также остаются неопределенными параметры и критерии, значения которых могут быть получены в условиях штатной эксплуатации непосредственно в местах хранения, что позволит достоверно оценить баллистические свойства порохового заряда.

Задача определения баллистических характеристик метательных зарядов и изменения свойств порохов может быть решена на основе комплексного применения теоретических, экспериментальных методов и решения задач внутренней баллистики.

Ввиду отсутствия и недостаточной достоверности данных о весовых характеристиках боеприпасов малого калибра был произведен эксперимент по определению их фактической массы. Всего было взвешено 272 унитарных выстрела калибра 25/80 к артиллерийской установке 2М-3М и 140 унитарных выстрелов калибра 30/54 к артиллерийской установке АК-630. Боеприпасы хранятся в условиях подземного неотапливаемого хранилища воинской части А4068 г. Севастополь.

Экспериментальное исследование проводилось в целях определения массы боеприпасов малых калибров внутри валовых партий различных годов выпуска и подтверждения ранее обнаруженного эффекта снижения массы боеприпаса при долговременном хранении, а также определение возможности применения операции взвешивания в качестве «дострельбовой» проверки при допуске боеприпасов к практическим (боевым) стрельбам и информативности взвешивания в качестве первичного исследования в системе мониторинга боеприпасов.

Для взвешивания были определены семь партий разных годов выпуска, а именно:

- 4 партии 25/80 клб 1953, 1964, 1977, 1986 годов выпуска;
- 3 партии 30/54 клб 1972, 1982, 1985 годов выпуска;

Из каждой партии были выбраны по два элеваторных ящика.

Отбирались боеприпасы с максимально сходной комплектацией (по чертежу снаряда, взрывателю, метательному заряду, гильзе, капсульной втулке (капсюлю)).

Для измерения массы боеприпасов использовались две модификации весов электронных лабораторных типа ТВЕ. Их характеристики представлены ниже:

1. ТВЕ–1-0,01, зав. №5766. Год изготовления – 2012. Минимальный предел измерения – 0,5 г. Максимальный предел измерения – 1000 г. Дискретность измерений (цена деления) – 0,01 г. Предел допустимой погрешности – 0,1 г.

2 ТВЕ – 24-0,5, зав. №5768. Год изготовления – 2012. Минимальный предел измерения – 25 г. Максимальный предел измерения – 24000 г. Дискретность измерений (цена деления) – 0,5 г. Предел допустимой погрешности – 0,5 г.

Класс точности весов – II по ДСТУ EN 45501:2007 “Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань”.

Весы были установлены возле входа в хранилище на устойчивом столе и выставлены по встроенному уровню с помощью регулировки установочных ножек. Время одного измерения составляло 5 секунд.

Результаты взвешивания для отдельных ящиков представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Данные взвешивания 25 мм боеприпасов УОЗР-85 из второго ящика 1986 года выпуска (партия 49-86-184), условное обозначение 86/2

№/№	м, г						
1	649,16	11	647,86	21	648,83	31	648,51
2	649,37	12	648,49	22	646,97	32	649,20
3	649,00	13	649,64	23	646,71	33	649,37
4	649,00	14	649,90	24	650,02	34	648,17
5	650,49	15	647,90	25	651,44	–	–
6	647,22	16	647,27	26	647,21	–	–
7	650,35	17	646,30	27	648,10	–	–
8	649,48	18	650,23	28	649,62	–	–
9	649,92	19	652,85	29	648,51	–	–
10	648,30	20	651,03	30	649,62	–	–

Таблица 2 – Данные взвешивания 30 мм боеприпасов УОФ-84 из первого ящика 1982 года выпуска (партия 192-82-184), условное обозначение 82/1

№/№	м, г						
1	840,20	7	836,86	13	837,53	19	832,57
2	834,89	8	836,51	14	832,47	20	829,93
3	840,04	9	834,64	15	838,41	21	834,34
4	836,59	10	835,78	16	840,76	22	835,1
5	835,17	11	836,60	17	839,27	–	–
6	831,98	12	838,13	18	836,63	–	–

В результате обработки представленных данных (таблицы 3,4) выявлен эффект снижения средней массы боеприпаса при долговременном хранении.

Таблица 3 – Значения массы 25 мм выстрела УОЗР-85 от времени хранения

τ , год	1953	1964	1977	1986
m_{\max} , г	644,90	641,55	638,84	645,38
m_{\min} , г	637,72	631,69	648,75	652,85
\bar{m} , г	640,48	636,83	643,67	648,69

Таблица 4 – Значения массы 30 мм выстрела УОЗР-85 от времени хранения

τ , год	1972	1982	1985
m_{\max} , г	827,93	840,76	844,54
m_{\min} , г	814,56	823,31	832,25
\bar{m} , г	821,07	835,30	837,29

Средняя по выборке (из партии) масса артиллерийских выстрелов более длительных сроков хранения меньше средней массы боеприпасов, изготовленных относительно недавно. Ранее такой эффект был обнаружен для танковых боеприпасов раздельно-гильзового заряжания (для пороховых метательных зарядов 4Ж40) [3]. Таким образом, подтверждено предположение об уменьшении массы артиллерийских боеприпасов при долгосрочном хранении и распространение этого явления на унитарные выстрелы малого калибра морской номенклатуры. Также в [12] показано, что масса унитарного выстрела снижается за счет уменьшения массы пороха его метательного заряда, то есть Δm пропорциональна $\Delta \omega$.

Из-за отсутствия данных о динамике изменения массы выстрелов от момента изготовления для нахождения зависимостей изменения массы выстрела от времени хранения в качестве базового была взята масса самого тяжелого боеприпаса как наименее подвергнувшегося изменениям (для 25 мм выстрела – 652,85 г, для 30 мм выстрела – 844,54 г).

Изменение массы артиллерийских выстрелов в процессе хранения по отношению к базовым значениям массы показано в таблицах 5 и 6.

Анализ представленных данных показывает, что пироксилиновый порох в боеприпасах, хранящихся в одинаковых условиях, разлагается, теряя массу, одновременно во всех изделиях. Разница в массе вы-

стрелов между самым тяжелым и самым легким выстрелом остается постоянной внутри каждой партии независимо от времени хранения.

Таблица 5 – Изменение массы 25 мм выстрела УОЗР-85 от времени хранения

τ , год	1953	1964	1977	1986
Δm_{\max} , г	15,13	21,16	14,01	7,47
Δm_{\min} , г	7,95	11,3	4,1	0
$\Delta \bar{m}$, г	12,37	16,02	9,8	4,16

Таблица 6 – Изменение массы 30 мм выстрела УОФ-84 от времени хранения

τ , год	1972	1982	1985
Δm_{\max} , г	29,98	21,23	12,29
Δm_{\min} , г	16,61	3,78	0
$\Delta \bar{m}$, г	23,47	9,21	7,25

Также подтверждается, что графитованный порох 6/7гр, используемый в боеприпасах калибра 25/80, более стойкий, чем флегматизованный порох 6/7 фл, используемый в боеприпасах калибра 30/54.

На рис. 1 приведены графики зависимостей снижения массы унитарных патронов указанных калибров от времени хранения, составленные по данным таблиц 5 и 6. на промежутке эксплуатации от 27 до 40 лет

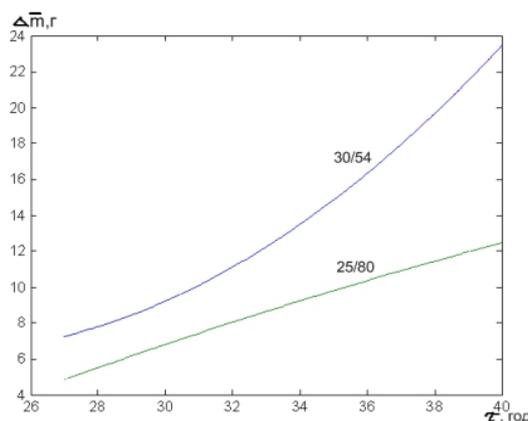


Рисунок 1 – Изменение массы унитарных выстрелов калибров 25/80 и 30/54 в зависимости от срока хранения при $27 < \tau < 40$

Аналитические выражения показанных зависимостей имеют вид:

для калибра 25/80:

$$\Delta \bar{m} = -0.0067366 \tau^2 + 1.0376 \tau - 18.264, \quad (1)$$

для калибра 30/54:

$$\Delta \bar{m} = 0.059436 \tau^2 - 2.7345 \tau + 37.753, \quad (2);$$

где $\Delta \bar{m}$ – выборочное математическое ожидание изменения масс унитарных выстрелов; τ – время хранения.

Выражения 1 и 2 дают возможность сделать прогноз баллистических свойств артиллерийских выстрелов малого калибра на более широкий временной диапазон, основываясь на известных теоретических положениях термохимической стойкости порохов [7,8] и внутренней баллистики [9–11].

Определим изменение начальной скорости снаряда унитарных выстрелов калибров 25/80 и 30/54 при изменении массы их метательных зарядов. Для этого используем поправочные формулы внутренней баллистики [10].

В результате расчета для калибра 25/80 получаем:

$$\Delta V_0 = 11270 \Delta \omega, \text{ м/с}, \quad (3)$$

где ΔV_0 – изменение начальной скорости снаряда; $\Delta \omega$ – изменение веса порохового заряда (выстрела).

И значения, показанные в таблице 7, где $V_{табл}$ – табличное значение начальной скорости снаряда равное 900 м/с.

Аналогично, для калибра 30/54 получаем:

$$\Delta V_0 = 6463,81 \Delta \omega, \text{ м/с}, \quad (4)$$

где ΔV_0 – изменение начальной скорости снаряда; $\Delta \omega$ – изменение веса порохового заряда (выстрела).

И значения в таблице 8, где $V_{табл}$ – табличное значение начальной скорости снаряда равное 890 м/с.

Таблица 7 – Изменение скорости 25 мм выстрела УОЗР-85 от времени хранения

τ , год	1953	1964	1977	1986
$\Delta \bar{m}$, г	12,37	16,02	9,8	4,16
$\Delta \bar{V}_0$ м/с	139,40	180,54	110,45	46,88
$\frac{\Delta \bar{V}_0}{V_{табл}}$	0,15	0,2	0,12	0,05

Таблица 8 – Изменение скорости 30 мм выстрела УОФ-84 от времени хранения

τ , год	1972	1982	1985
$\Delta \bar{m}$, г	23,47	9,21	7,25
$\Delta \bar{V}_0$ м/с	151,70	59,59	46,86
$\frac{\Delta \bar{V}_0}{V_{табл}}$	0,170	0,067	0,052

Из данных таблиц 7 и 8 видно, что у артиллерийских боеприпасов калибра 25 мм 1953, 1964, 1977 годов выпуска и у боеприпасов калибра 30 мм 1972 года выпуска начальная скорость упадет больше, чем на 10 %. То есть потеря массы метательного заряда приведет к потере начальной скорости снаряда больше допустимой, исходя из условия возможности ее компенсации с помощью введения поправок в приборы стрельбы.

Следует отметить, что хотя по номенклатуре взятые для эксперимента боеприпасы одинаковы, однако конструктивное исполнение их отличается. Так, для боеприпасов 1953 года выпуска калибра 25 мм выполнено два пояска из меди, а для всех остальных исследуемых партий этот элемент один. Эти и другие конструктивные отличия (как-то способ завальцовывания для 30 мм боеприпасов, тип взрывателя) дают возможность сделать вывод о том, что декларируемая в таблицах боевой комплектации масса выстрела является условной его характеристикой, которая, как показывают измерения, не подтверждается ни для одной партии. В этой связи, было признано целесообразным перейти от абсолютных значений к относительным величинам массы, что связано с истощением порохового заряда (таблицы 9 и 10). Причем значения $m_{табл}$ пропорциональны значениям массы порохового заряда ω , их необходимо брать из формуляров (карточек-паспортов) на конкретную партию боеприпасов и, только в случае их отсутствия – из таблиц боевой комплектации.

Анализ данных, представленных в таблицах 9 и 10, показывает, что отношение изменения массы выстрела к табличному (паспортному) значению массы порохового заряда этого выстрела пропорционально отношению изменения начальной скорости снаряда этого выстрела к ее табличному значению.

Оценим согласованность указанного вывода с опытными данными, то есть, определим R^2 при условии, что данные отвечают соотношению

$$\frac{\Delta \bar{m}}{m_{\text{табл}}} = \frac{\Delta \bar{V}_0}{V_{\text{табл}}} \quad (5)$$

Таблиця 9 – Изменение массы и скорости 25 мм выстрела УОЗР-85 от времени хранения

τ , год	1953	1964	1977	1986
$\frac{\Delta \bar{m}}{m_{\text{табл}}}$	0,13	0,16	0,1	0,04
$\frac{\bar{V}_0}{V_{\text{табл}}}$	0,15	0,2	0,12	0,05

Таблиця 10 – Изменение массы и скорости 30 мм выстрела УОФ-84 от времени хранения

τ , год	1972	1982	1985
$\frac{\Delta \bar{m}}{m_{\text{табл}}}$	0,2	0,08	0,06
$\frac{\bar{V}_0}{V_{\text{табл}}}$	0,170	0,067	0,052

Таблиця 11 – Оценка точности формулы 5 для 25 мм выстрелов

i	$\frac{\Delta \bar{V}_0}{V_{\text{табл}}}$	$\frac{\Delta \bar{m}}{m_{\text{табл}}}$	R_i	R^2
1	0,15	0,13	0,02	0,021
2	0,2	0,16	0,04	
3	0,05	0,04	0,01	

Как видно из приведенных данных соотношение (5) достаточно точно отражает влияние геронтологического изменения массы порохового заряда на снижение начальной скорости снаряда.

Таблиця 12 – Оценка точности формулы 5 для 30 мм выстрелов

i	$\frac{\Delta \bar{V}_0}{V_{\text{табл}}}$	$\frac{\Delta \bar{m}}{m_{\text{табл}}}$	R	R^2
1	0,17	0,2	- 0,03	0,00113
2	0,067	0,08	- 0,013	
3	0,052	0,06	- 0,008	

Выводы

Для артиллерийских боеприпасов малого калибра в условиях их длительного хранения выявлена закономерность, связывающая уменьшение массы заряда унитарного выстрела и начальной скорости снаряда.

На основе разработанного метода контроля геронтологических изменений пороха метательного заряда путем определения изменения его массы, возможно осуществлять контроль за техническим состоянием артиллерийских боеприпасов малого калибра на арсеналах и базах вооружения, а именно:

- при поступлении вновь изготовленных боеприпасов провести вводное взвешивание выборки выстрелов внутри партии с целью определения точки отсчета для применения методики, изложенной в данной работе;

- после окончания срока гарантийного хранения боеприпаса и потом каждые 5 лет проводить периодическое взвешивание репрезентативной выборки;

– в мирное время, перед выдачей на корабль производить 100 % взвешивание выстрелов с целью выявления боеприпасов, уменьшение массы которых превышает допустимое значение для внесения поправок в приборы стрельбы;

Результаты исследования могут быть использованы при создании системы мониторинга пороховых зарядов унитарных патронов к ствольным системам.

Литература

1. Хайков В.Л. Возможности радиационных методов неразрушающего контроля для повышения объективности диагностики технического состояния артиллерийских боеприпасов / В.Л. Хайков // Збірник наукових праць АВМС – Севастополь, 2011 – Вип.1 (5) – С. 26–36.
2. Анипко О.Б., Гончаренко П.Д., Хайков В.Л. Преждевременные разрывы снарядов корабельной артиллерии и методы их предупреждения. Зарубежный опыт / О.Б. Анипко, П.Д. Гончаренко, В.Л. Хайков // Збірник наукових праць АВМС – Севастополь, 2011 – Вип.4 (8) С. 6–16.
3. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения: монографія / О.Б. Анипко, Ю.М. Бусяк – Х.: Академия ВВ МВД України, 2009. – 128 с.
4. Бирюков И.Ю. Пороховые заряды длительных сроков хранения: проблемы, задачи і пути их решения / И.Ю. Бирюков // Інтегровані технології та енергозбереження : збірник наукових статей. – Х.: 2006. – №2. – С. 50–55.
5. Черкашин А.Д. Проверка достоверности прогноза и коррекции зависимости изменения начальной скорости пули 9 мм пистолетного патрона ПМ / А.Д. Черкашин // Системи озброєння і військова техніка. – Х., 2010. – №3 (23) – С. 90–92.
6. Explosive effects and applications. / [edited by] J.A. Zukas., W.P. Walters. – New York. Spring-Verlag, 1998. – 240 p.
7. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества/ А.Г. Горст – М.: Машиностроение, 1972. – 208 с.
8. Андреев К.К. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ / К.К.Андреев – М. Наука, 1966. – 339 с.
9. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика / М.Е. Серебряков, К.К. Гретен, Г.В. Оппоков.; под ред. Серебрякова М.Е. – М.: Оборонгиз, 1939. – 592 с.
10. Чернов В.П. Поправочные формулы внутренней баллистики: монографія / В.П. Чернов – М.: Воениздат, 1956. – 368 с.
11. Горохов М.С. Внутренняя баллистика ствольных систем / М.С. Горохов – М.: Воениздат, 1985. – 155 с.
12. Вертелецкий В.Ф. Прогнозирование изменения физико-химических свойств порохового заряда и начальной скорости 30 мм артиллерийских боеприпасов морской номенклатуры / Інтегровані технології та енергозбереження: збірник наукових статей. – Х.: 2012. – №2. – С. 24–31.

Bibliography (transliterated)

1. Hajkov V.L. Vozmozhnosti radiacionnyh metodov nerazrushajushhego kontrolja dlja povyshenija obektivnosti diagnostiki tehničeskogo sostojanija artillerijskih boeprapasov V.L. Hajkov Zbirnik naukovih prac' AVMS – Sevastopol', 2011 – Vip.1 (5) – p. 26–36.
2. Anipko O.B., Goncharenko P.D., Hajkov V.L. Prezhdevremennye razryvy snarjadov korabel'noj artillerii i metody ih preduprezhdenija. Zarubezhnyj opyt O.B. Anipko, P.D. Goncharenko, V.L. Hajkov Zbirnik naukovih prac' AVMS – Sevastopol', 2011 – Vip.4 (8) p. 6–16.
3. Anipko O.B., Busjak Ju.M. Vnutrennjaja ballistika stvol'nyh sistem pri primenenii boeprapasov dlitel'nyh srokov hranenija: monografija O.B. Anipko, Ju.M. Busjak – H.: Akademiya VV MVD Ukraïni, 2009. – 128 p.
4. Birjukov I.Ju. Porohovye zarjady dlitel'nyh srokov hranenija: problemy, zadachi i puti ih reshe-nija I.Ju. Birjukov Integrovani tehnologii ta energozberezhennja : zbirnik naukovih statej. – H.: 2006. – #2. – p. 50–55.
5. Cherkashin A.D. Proverka dostovernosti prognoza i korrekcii zavisimosti izmenenija nachal'noj skorosti puli 9 mm pistoletnogo patrona PM A.D. Cherkashin Sistemi ozbroennja i vijs'kova tehnika. – H., 2010. – #3 (23) – p. 90–92.
6. Explosive effects and applications. [edited by] J.A. Zukas., W.P. Walters. – New York. Spring-Verlag, 1998. – 240 p.
7. Gorst A.G. Poroha i vzryvchatye veshhestva A.G. Gorst – M.: Mashinostroenie, 1972. – 208 p.
8. Andreev K.K. Termicheskoe razlozhenie i gorenje vzryvchatyh veshhestv K.K.Andreev – M. Nauka, 1966. – 339 p.

9. Serebrjakov M.E. Vnutrennjaja ballistika M.E. Serebrjakov, K.K. Greten, G.V. Oppokov.; pod red. Se-rebrjakova M.E. – M.: Oborongiz, 1939. – 592 p.

10. Chernov V.P. Popravochnye formuly vnutrennej ballistiki: monografija V.P. Chernov – M.: Voenizdat, 1956. – 368 p.

11. Gorohov M.S. Vnutrennjaja ballistika stvol'nyh sistem M.S. Gorohov – M.: Voenizdat, 1985. – 155 p.

12. Verteleckij V.F. Prognozirovanie izmenenija fiziko-himicheskikh svojstv porohovogo zarjada i nachal'noj skorosti 30 mm artillerijskih boepripasov morskoy nomenklatury Integrovani tehnologii ta energozberezhenija: zbirnik naukovih statej. – H.: 2012. – #2. – p. 24–31.

УДК 623.52

Аніпко О.Б., Вертелецький В.Ф.

ЗМІНА ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОХОВОГО ЗАРЯДУ Й ПОЧАТКОВОЇ ШВИДКОСТІ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ БОЄПРИПАСІВ МОРСЬКОЇ НОМЕНКЛАТУРИ КАЛІБРІВ 25/80 ТА 30/54

Вирішене завдання зміни початкової швидкості снарядів артилерійських боєприпасів малого калібру на післягарантійних етапах експлуатації на основі експериментальних даних про зміну маси пострілів патронного заряджання

Anipko O.B., Verteletsky V.F.

CHANGE OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF THE POWDER CHARGE AND INITIAL SPEED OF ARTILLERY AMMUNITION OF THE SEA NOMENCLATURE OF CALIBRES OF 25/80 AND 30/54

The problem of change of initial speed of shells of artillery ammunition of small calibre on послегарантійних operation phases on the basis of experimental data about change of weight of shots cartridge заряджання is solved.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПИСТОЛЕТОВ СО СВОБОДНОЙ ОТДАЧЕЙ ЗАТВОРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БОЕПРИПАСОВ ПОСЛЕГАРАНТИЙНЫХ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ

В настоящее время Украина не имеет на своей территории заводов, специализирующихся на производстве всей номенклатуры боеприпасов, как к стрелковому оружию, так и к артиллерийским системам. Запасы боеприпасов, хранящихся в арсеналах и на складах достаточно велики, но сроки их хранения составляют более 20 лет и продолжают расти [1].

Основное требование, предъявляемое к порохам для практического использования, – их стабильность, т.е. способность при хранении не изменять свои физико-химические, а, следовательно, и баллистические свойства [2].

Первые обобщенные результаты исследования химической стойкости порохов находим у А. Сапожникова [3]. Он пишет, что "причины, которые могут иметь особенно значительное влияние на химическую стойкость взрывчатых веществ бывают двух родов. Первая и самая важная из них – степень чистоты получаемого при фабрикации продукта в смысле отсутствия в нем посторонних примесей... Вторая причина – это условия хранения, при чем приходится считаться главным образом с температурой хранилища и с состоянием воздуха в отношении содержания в нем влажности".

Проблема изменения физико-химических свойств порохов метательных зарядов и ухудшения, в связи с этим, баллистических характеристик оружия известна, не нова и затрагивает практически все вопросы, связанные с применением вооружения (рис. 1).

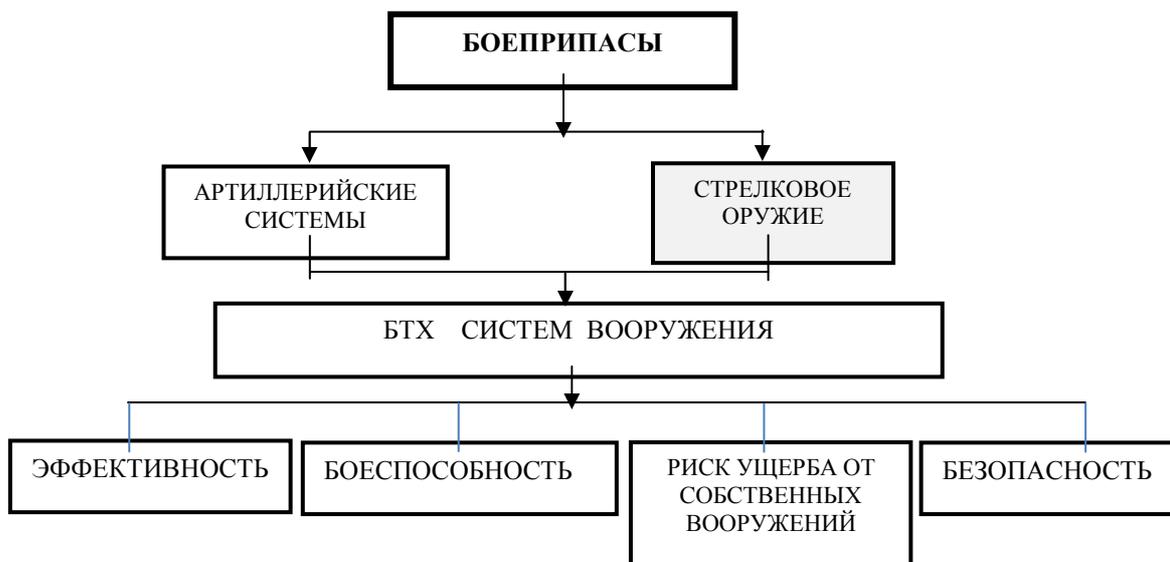


Рисунок 1 – Проблема старения пороховых зарядов

В процессе длительного хранения пироксилиновые пороха, применяемые в боеприпасах к стрелковому оружию, способны самопроизвольно разлагаться и претерпевать различные физико-химические превращения [4–6]. Эти изменения происходят как в результате чисто физических процессов (массоперенос, испарение, поглощение влаги), так и физико-химических процессов (рекристаллизация, эксудация), что негативно отражается на баллистических свойствах порохов, которые, в конечном итоге, могут измениться настолько, что практическое применение боеприпасов становится опасным и невозможным (рис. 2).

Энергетическую основу огнестрельного оружия составляет узел ствола с надежно закрытым в нем патроном. При выстреле из неавтоматического оружия энергия расширения и истечения порохового газа используется для сообщения движения только пуле, а в автоматическом – и пуле и механизмам автоматики [7].

В последнем случае, узел, обеспечивающий использование энергии порохового газа для приведения в действие автоматики, является её тепловым двигателем, преобразующим внутреннюю энергию порохового заряда в механическую энергию движения ведущего звена её откатных частей.

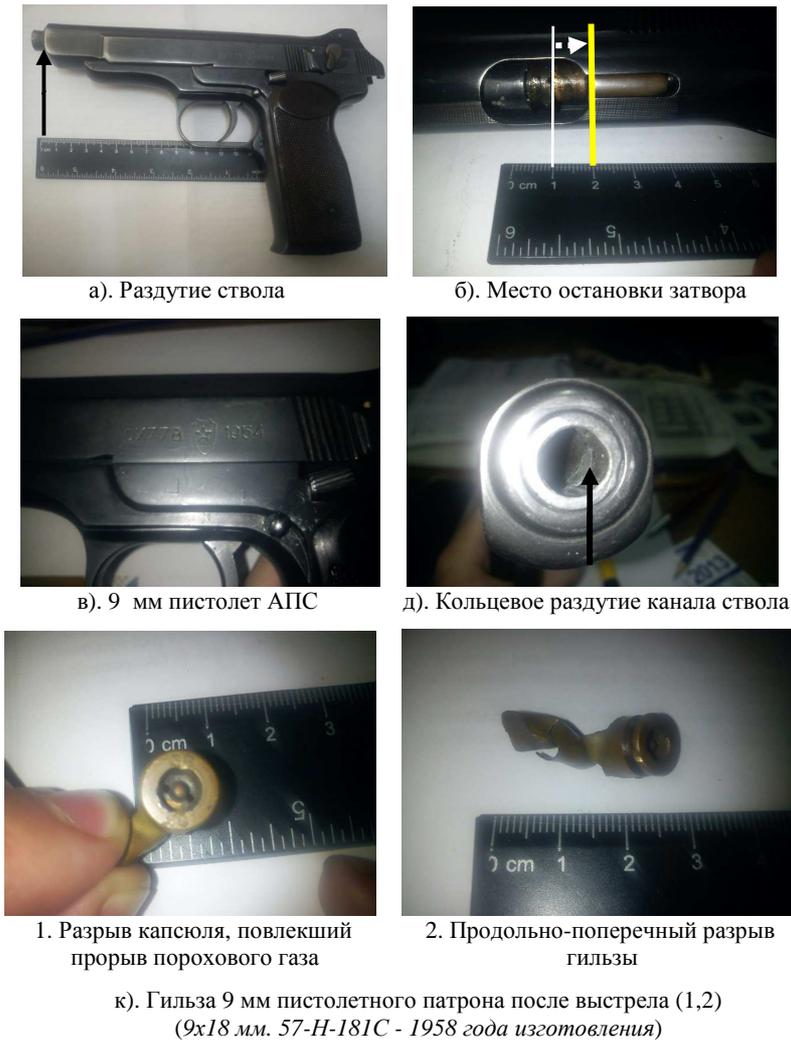


Рисунок 2 – Повреждения, вызванные применением боеприпасов послегарантийных сроков хранения для пистолетов

Стрелковое оружие является массовым, поскольку находится на вооружении военнослужащих всех родов и видов вооруженных сил Украины, а 9 мм пистолет Макарова ПМ является штатным, личным оружием всего офицерского состава и прапорщиков (военнослужащих по контракту) согласно табеля вооружения воинских частей [8]. Поскольку ствол по отношению к боеприпасам есть более дорогим элементом в системе «оружие–боеприпас», то снижение его ресурса из-за ухудшения качества патронов, в том числе, вызванного геронтологическими изменениями, могут существенно увеличить расходы на решение типовых огневых задач [9].

Рабочий процесс в двигателе автоматики начинается с момента воспламенения порохового заряда (рис. 3). Проходят фазы горения заряда в патроннике ствола, образования порохового газа высоких параметров и его расширения в переменном объеме ствола и сообщения движения толкателю (гильзе или поршню рамы), как движущему звену, а через него – ведущему звену двигателя (стволу, затвору, затворной раме или их совокупности).

Наиболее распространенными способами придания движения ведущему звену, определившими собою и разновидности двигателей автоматики оружия, является использование силы давления порохового газа на дно гильзы для обеспечения движения (хода, отдачи) ствола или отдельно затвора (двигателя со свободной отдачей затвора) [8, 10–12].

Возможны и другие способы сообщения движения ведущему звену автоматики. Двигатели автоматики оружия, использующие внешние источники энергии, составляют отдельную, малораспространенную в боевом оружии группу двигателей и в статье не рассматриваются.

В соответствии с видом используемого в оружии двигателя автоматики различают принципиальные конструктивные особенности автоматического короткоствольного оружия, в частности пистолетов, которые представлены в таблице 1.

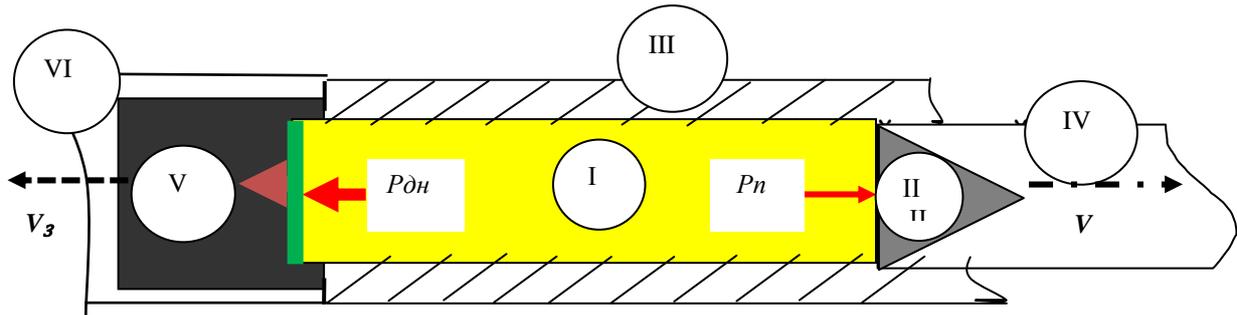


Рисунок 3 – Рабочий процесс в двигателе автоматики

I – гильза в патроннике; II – пуля; III – ствол; IV – канал ствола; V – затвор; VI – короб затворной рамы;
 $P_{дн}$ – давление пороховых газов на дно гильзы и затвор; P_n – давление пороховых газов на пулю

Двигатели автоматики со свободной отдачей затвора получили широкое применение в пистолетах и пистолетах-пулеметах, иногда – в автоматах, т.е. в оружии под малоомощные патроны – пистолетные и автоматные. Наиболее распространенными из них являются двигатели автоматики со свободной отдачей затвора, где ведущим звеном двигателя является незапертый при выстреле затвор, движение последнего возможно лишь в результате выдвигания гильзы, что составляет главную особенность короткоствольного стрелкового оружия [13–15].

Известны работы, посвященные исследованию геронтологических изменений пороховых зарядов артиллерийских систем и стрелкового оружия [1–2, 16–17].

Однако, учитывая указанные особенности короткоствольного оружия со свободной отдачей затвора, следует подчеркнуть, что главной особенностью I периода выстрела пистолета есть его кратковременность, поэтому сложность протекающих процессов и трудность точного теоретического учета изменения давления в этот период вынуждают считать весь I период изменения $p_{дн}(t)$ пиростатическим, а за начало движения пули принимать момент полного ее врезания в нарезы ствола. Однако в действительности гильза может начать смещение назад с увеличением $W_{кам}$, как только сила $F_{дн}$ превысит силу извлечения пули из гильзы [7].

Характеристики движения затвора в I периоде определяются на основе использования разновидности основного уравнения динамики для рассматриваемых условий:

$$\varphi_3 \cdot m_{п.з} \cdot dv_3 = p_{дн}(t) \cdot S_{кн} dt = l. \quad (1)$$

Таблица 1 – Сравнительные характеристики стрелкового оружия (а,б)

№ п/п	Наименование характеристики	Ед. изм.	Значение для ПМ	Значение для АПС	Значение для АК-74
1	длина ствола	мм	93	140	415
2	количество нарезов	шт.	4	4	4
3	шаг нарезов	мм	280	280	200
4	направление нарезов		правосторонние	правосторонние	правосторонние
5	длина нарезной части	мм	75	122	369
6	ширина нареза	мм	4,5		
7	начальная скорость пули	м/с	315	340	900
8	дульная энергия	Дж	303	338	1377
9	фиксация патрона в стволе		Фиксация гильзы осуществляется передним срезом дульца гильзы.	Фиксация гильзы осуществляется передним срезом дульца гильзы.	Если гильза имеет не выступающую закраину (бесфланцевая), то обычно фиксация осуществляется скатом гильзы в скат патронника.

а). 9 мм ПМ, АПС и 5,45 мм АК-74

№ п/п	Наименование характеристики	Ед. изме-рен.	Патрон 9x18 мм (57-Н-181С)	Патрон 5,45x39 мм (7Н6)
1	длина патрона	мм	24,8–25,0	56,6–57,0
2	масса патрона	г	9,8–10,0	10,2–10,4
3	марка пороха		П–125	Сф033фл
4	масса порохового заряда	г	0,24–0,25	1,43–1,45
5	максим давление пгазов	МПа	117,7	294,2
6	масса пули	г	5,95–6,1	3,40–3,42
7	длина пули	мм	12,20–12,35	25,5–25,65
8	диаметр ведущей части пули	мм	9,22–9,27	5,72–5,75
9	Масса гильзы с капсюлем	г	3,5–3,65	5,5–5,57
10	Длина гильзы	мм	17,85–18,10	39,5–39,7
11	свободный объём гильзы	см ³	0,841	1,74

б). 9 мм и 5,45 мм патроны

Во II периоде изменения $p_{\text{дн}}(t)$ после полного форсирования пули в нарезы ствола импульс силы давления порохового газа изменяет количества движения соответственно пули m с частью порохового заряда $k_w \cdot m_w$ и гильзы m_r с затвором m_z и с другой частью порохового заряда.

В III периоде изменения $p_{\text{дн}}(t)$ после покидания пулей канала ствола импульс силы остаточного давления порохового газа изменяет количества движения соответственно пули m с частью порохового заряда $k_w \cdot m_w$ и истекающей из дульной части ствола массы порохового газа.

Характеристики отката затвора во II и III периодах определяются на основе использования разновидности основного уравнения динамики (1) для рассматриваемых соответствующих условий этих периодов.

Процесс истечения порохового газа из ствола в III периоде для короткоствольного оружия, как правило не используется для работы дульных устройств, например компенсаторов, при этом обратное пламя, поток газов, усиление звукового давления на органы слуха имеют существенное физиологическое и психическое воздействие на стрелка, что в свою очередь сказывается на стабилизации пистолета во время стрельбы и ее результаты.

Все это приводит к выводу о том, что непосредственно перевести результаты исследований артиллерийского и стрелкового вооружения на пистолеты не представляется возможным. Поэтому возникает задача теоретического и экспериментального исследования баллистических характеристик этого класса оружия при применении боеприпасов с геронтологическими изменениями пороховых зарядов. Для чего необходимо решить следующие задачи исследования:

- на основе обзора и анализа работ по эксплуатации порохов рассмотреть методы прогнозирования характеристик боеприпасов при длительных сроках их эксплуатации (более 20 лет);
- определить свойства метательных пороховых зарядов 9мм пистолетных патронов послегарантийных сроков их хранения;
- провести экспериментальное исследование состояния 9 мм патронов послегарантийных сроков хранения и баллистических характеристик 9мм пистолетов;
- определение живучести ствола 9 мм пистолета Макарова ПМ при использовании боеприпасов послегарантийных сроков хранения;
- разработать рекомендации по коррекции мероприятий и периодичности контроля состояния ствола.

Осуществление этих мероприятий позволит определить рациональные сроки использования имеющихся боеприпасов по назначению, определить потребный объем боеприпасов к пистолетам, а также обеспечить безопасность применения короткоствольного оружия со свободной отдачей затвора.

Литература

1. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения. Монография. Х.: АВВ МВД Украины, 2010 – 128 с.
2. Анипко О.Б., Бирюков И.Ю. // Методы термодинамики, тепло- и массопереноса для решения обратной задачи внутренней баллистики. Интегровані технології та енергозбереження. – Х. 2005 – №2. – С. 63–68.

3. Сапожников А. Теория взрывчатых веществ. Курсъ Михайловской Артиллерийской Академии. С.-Петербургъ, 1912 – 369 с.
4. Будников М.А., Левкович Н.А., Быстров И.В. Взрывчатые вещества и пороха. – М.: Оборонгиз, – 1955. – 363 с.
5. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества. – М.: Машиностроение, 1972. – 208 с.
6. Буллер М.Ф., Межевич Г.В. Методы испытания утилизируемых порохов.– Шостка: Изд. "ДИА", 2005 – 94 с.
7. Кириллов В.М. Теория и расчет автоматического оружия. – Издание Пензенского высшего артиллерийского инженерного ордена Красной Звезды училища им. Главного маршала артиллерии Н.Н. Воронова, 1973 – 493 с.
8. Наставление по стрелковому делу. 9 мм. пистолет Макарова ПМ. – М.: Военное издательство, 1969. – 143 с.
9. Руководство по эксплуатации ракетно-артиллерийского вооружения. Часть 1. – М.: Военное издательство, 1989 – 240 с.
10. Наставление по стрелковому делу 9 мм автоматический пистолет Стечкина АПС.– М.: Военное издательство, 1957 – 168 с.
11. Керівництво з експлуатації 9 мм пістолета ФОРТ-17. - КП НВО "ФОРТ" МВС України м. Вінниця. 2005 – 147 с.
12. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 5,6 мм самозарядные пистолеты Марголина.– Издание Ордена Трудового Красного Знамени военное издательство МО СССР. – М. 1976 – 111 с.
13. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика. – М.: Оборонгиз, 1949 – 670 с.
14. Вентцель Д.А. Внутренняя баллистика. – М.: ВВИА им. проф. Жуковского Н.Е., 1948 – 414 с.
15. Граве И.П. Внутренняя баллистика. – Л.: Издание Артиллерийской академии РККА, 1938 – 362 с.
16. Анипко О.Б., Бирюков И.Ю. // Зависимость начальной скорости снаряда от максимального давления в канале ствола при выстреле артиллерийскими зарядами длительного срока хранения. Интегровані технології та енергозбереження. – Х. 2006 – №1. – С. 83–86.
17. Аніпко О.Б., Баулін Д.С. // Особливості характеристик внутрішньої балістики порохових зарядів боеприпасів, які знаходяться за межами гарантійних строків зберігання. Х.: Видавництво АВВ МВС України, 2008 – 40 с.

Bibliography (transliterated)

1. Anipko O.B., Busjak Ju.M. Vnutrennjaja ballistika stvol'nyh sistem pri primeneniі boepripasov dlitel'nyh srokov hranenija. Monografija. H.: AVV MVD Ukrainy, 2010 – 128 p.
2. Anipko O.B., Birjukov I.Ju. Metody termodinamiki, teplo- i massoperenosa dlja reshenija obratnoj zadachi vnutrennej ballistiki. Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – H. 2005 – #2. – p. 63–68.
3. Sapozhnikov A. Teoriya vzryvchatyh veshhestv". Kurs" Mihajlovskoj Artillerijskoj Akademii. S.-Peterburg", 1912 – 369 p.
4. Budnikov M.A., Levkovich N.A., Bystrov I.V. Vzryvchatye veshhestva i poroha. – M.: Oborongiz, – 1955. – 363 p.
5. Gorst A.G. Poroha i vzryvchatye veshhestva. – M.: Mashinostroenie, 1972. – 208 p.
6. Buller M.F., Mezhevich G.V. Metody ispytaniya utiliziruemyh porohov.– Shostka: Izd. "DIA", 2005 – 94 p.
7. Kirillov V.M. Teoriya i raschet avtomaticheskogo oruzhija. – Izdanie Penzenskogo vysshego artillerijskogo inzhenernogo ordena Krasnoj Zvezdy uchilishha im. Glavnogo marshala artillerii N.N. Voronova, 1973 – 493p.
8. Nastavlenie po strelkovomu delu. 9 mm. pistollet Makarova PM. – M.: Voennoe izdatel'stvo, 1969. – 143 p.
9. Rukovodstvo po jekspluatácii raketno-artillerijskogo vooruzhenija. Chast' 1. – M.: Voennoe izda-tel'stvo, 1989 – 240 p.
10. Nastavlenie po strelkovomu delu 9 mm avtomaticheskij pistollet Stechkina APS.– M.: Voennoe izdatel'stvo, 1957 – 168 p.
11. Kerivnictvo z ekspluatácii 9 mm pistoleta FORT-17. - KP NVO "FORT" MVS Ukraini m. Vinnicja. 2005 – 147 p.
12. Tehnicheskoe opisaniє i instrukcija po jekspluatácii. 5,6 mm samozarjadnye pistolety Margoli-na.– Izdaniє Ordena Trudovogo Krasnogo Znameni voennoe izdatel'stvo MO SSSR. – M. 1976 – 111 p.
13. Serebrjakov M.E. Vnutrennjaja ballistika. – M.: Oborongiz, 1949 – 670 p.

14. Ventcel' D.A. Vnutrennjaja ballistika. – M.: VVIA im. prof. Zhukovskogo N.E., 1948 – 414 p.
15. Grave I.P. Vnutrennjaja ballistika. – L.: Izdanie Artillerijskoj akademii RKKA, 1938 – 362 p.
16. Anipko O.B., Birjukov I.Ju. Zavisimost' nachal'noj skorosti snarjada ot maksimal'nogo davlenija v kanale stvola pri vystrele artillerijskimi zarjadami dlitel'nogo stroka hranenija. Integrovani tehnologii ta energozberezhenja. – H. 2006 – #1. – p. 83–86.
17. Anipko O.B., Baulin D.S. Osoblivosti harakteristik vnutrishn'oi balistiki porohovih zarjadiv boepripasiv, jaki znahodjat'sja za mezhami garantijnih strokiv zberigannja. H.: Vidavnictvo AVV MVS Ukraini, 2008 – 40 p.

УДК 623.418.2

Бірюков О.І.

**ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПІСТОЛЕТІВ З ВІЛЬНОЮ ВІДДАЧЕЮ ЗАТВОРА
ПРИ ЗАСТОСУВАННІ БОЄПРИПАСІВ ПІСЛЯ ГАРАНТІЙНИХ ТЕРМІНІВ ЗБЕРІГАННЯ**

В статті розглядається наукова задача, стосовно особливостей короткоствольної зброї з вільною віддачею затвора при застосуванні боєприпасів після гарантійних термінів зберігання.

Birukov O.I.

**FEATURES OF OPERATION OF GUNS WITH FREE RETURN OF THE LOCK WHEN USING
AMMUNITION AFTER-GUARANTEE PERIODS OF STORAGE**

In article the scientific task, concerning features of operation of guns with free return of a lock when using ammunition after-guarantee periods of storage is considered.

УДК 66.045.1

Товажнянський Л.Л., Капустенко П.О., Ульєв Л.М., Васильєв М.А.

ЕКСТРАКЦІЯ ДАНИХ СМОЛОПЕРЕРОБНОГО ЦЕХУ ТА ДВОХ БЕНЗОЛЬНИХ ВІДДІЛЕНЬ ЗІ СПІЛЬНИМ СИРОВИННИМ ПОТОКОМ**Вступ**

Зростання цін на енергоресурси і, як правило їх монопольні постачання змушують енергозалежні країни диверсифікувати постачання енергоносіїв і прискореними темпами реалізовувати енергозберігаючі програми. Закономірно, що за останні десятиліття ХХ століття у високорозвинених країнах спостерігається тенденція до зниження енергоемності виробництва.

Масштаб і загальний технологічний устрій української економіки зумовлюють досить значне кінцеве споживання первинних енергоресурсів. За підсумками 2006 року енергоемність ВВП в Україні склала 0,89 кг умовного палива на 1 дол. США. Цей показник є сьогодні найвищим серед країн Європи. Зокрема в Польщі енергоемність ВВП складає 0,34 кг у. п /дол. США – 0,30, Німеччині – 0,26, Великобританії – 0,23 [1].

Особливо важливим є зменшення енергоспоживання в хімічній та металургійній промисловості, де ціна на паливо складає основну частину собівартості продукції.

В Україні було введено в дію 14 коксохімічних заводів (КХЗ). Всі вони будувались під час відносних дешевих цін на енергоносії, і в сьогодення, як правило, працюють далеко не в оптимальному режимі, з погляду енергоспоживання. У зв'язку з стійкою тенденцією підвищення цін на енергоносії, питання енергозбереження на КХЗ стало винятково важливим. У даній роботі досліджувався технологічний процес дистиляції кам'яновугільної смоли та процес дистиляції бензолу типовий для країн СНД.

Опис процесу дистиляції бензолу та процесу переробки кам'яно-вугільної смоли

Первинними продуктами коксування є твердий залишок - кокс і летючі речовини - коксовий газ, який потім при конденсації розділяється на кам'яновугільну смолу та сирію бензол.

Кам'яновугільна смола має багатий склад і є цінною сировиною для хімічної промисловості. З метою подальшого використання кам'яновугільну смолу поділяють фракції. Для цього практично на всіх коксохімічних заводах існує відділення дистиляції.

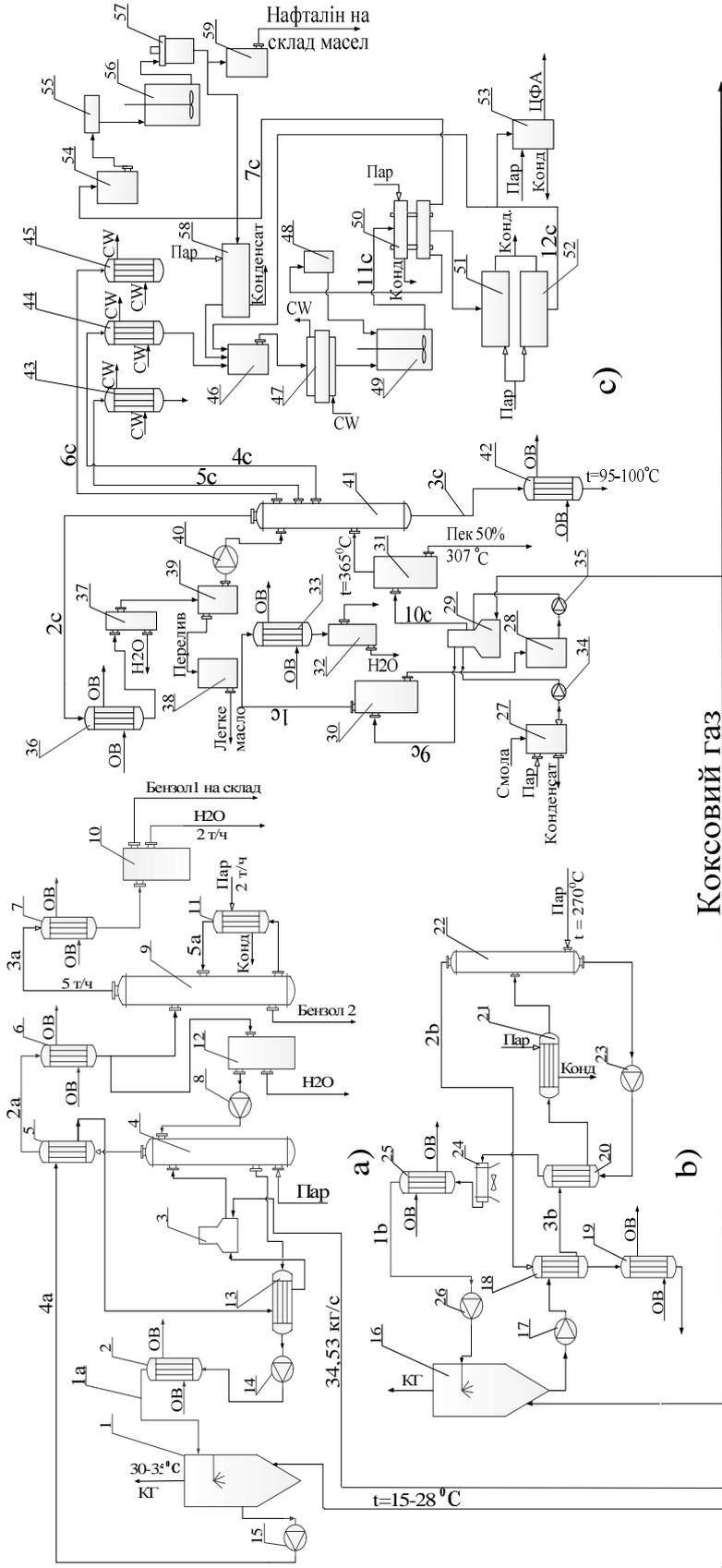
На (рис. 1а) та (рис. 1б) наведено технологічну схему двох бензольних відділень зі спільним сировинним потоком. Сирий бензол витягується з прямого коксового газу абсорбцією органічними поглиначами. При уловлюванні бензолових вуглеводів з коксового газу поглинальними маслами в сирому бензолі містяться легкі погони поглинального масла і нафталін [2]. На (рис. 1с) наведена схема переробки кам'яно-вугільної смоли.

На рисунку 1а – коксовий газ подається в бензольний скруббер 1, де орошається поглинальним маслом, після чого коксовий газ виводиться з скрубера. Поглинальне масло поступає в масляний дефлегматор 5, в якому підігривається парами дистиляційної колони 4.

З масляного дефлегматора поглинальне масло поступає в теплообмінник масла 6, в якому догрівається до температури 110 °С обезбензоленим маслом, що поступає з колони 4. Далі поглинальне масло поступає в трубку під 3, де догрівається до температури 160 °С і поступає в дистиляційну колону 4. В колону подається пара з температурою 200 °С. Обезбензолене масло з колони повертається в бензоловий скруббер 1, а пари дистиляційної колони поступають в дефлегматор масляний 5, з якого передаються в дефлегматор водяний 6 і поступають в розділову колону 9. Частина пари дистиляційної колони конденсується і стікає в сепаратор флегми 12, з якого насосом повертається в колону, а сепараторна вода виводиться з сепаратора.

У розділовій колоні 9 отримують більш вузькі фракції продуктів. Бензол виводиться з куба колони. Пари з колони поступають в конденсатор 7, де конденсуються, охолоджуються до 30 °С і поступають в сепаратор бензолу 10. В сепараторі конденсат розділяється на сепараторну воду і бензол і поступає на склад.

На рисунку 1б коксовий газ надходить в скруббер 16, де з нього, за допомогою поглинального масла витягуються бензольні вуглеводні. Далі зі скрубера поглинальне масло проходить через дефлегматор 18, рекуперативний теплообмінник 20 і паровий підігрівач 21, після чого потрапляє в ректифікаційну колону 22. В процесі ректифікації з масла виділяються бензольні вуглеводні і у вигляді пари зверху колони надходять в дефлегматор 18, потім в кінцевий конденсатор, і сконденсувавшись, відводяться в сховище. Очищене поглинальне масло з колони, пройшовши цикл охолодження, знов подається в скруббер і процес повторюється.



Коксовий газ

Рисунок 1 – Технологічна схема двох бензолних відділень та смолопереробного цеху зі спільним сировинним потоком

1, 16 – бензолні скрубери; 2, 25 – холодильники олії; 3, 29 – трубчаста піч; 4 – дистиляційна колона; 5, 18 – дефлегматор масляний; 6 – дефлегматор водяний; 7 – конденсатор; 8, 14, 15, 16, 17, 23, 34, 35, 40 – насос; 9 – розділова колона; 10 – сепаратора бензолу I; 11, 21 – підігрівач; 12 – сепаратор флегми; 13 – теплообмінник мас-ла; 19 – кінцевий конденсатор, 20 – рекуперативний теплообмінник, 22 – бензолна колона, 24 – повітряний охолоджувач, 27 – збірник початкової смоли; 28 – збірник збезводненої смоли; 30, 31 – випарник 1-ї та 2-ї ступені; 32, 37 – сепаратор легкого масла; 33, 36 – конденсатор-холодильних парів 1-ї ступені та фракційної колони; 38 – збірник легкого масла; 39 – рефлюкений бак; 41 – фракційна колона; 42-45 – погружні холодильники 2-ї антраценової, поглинальної, нафталінової і фенольної фракції; 46 – великий напірний бак; 47 – барабанний кристалізатор; 48 – малий напірний бак; 49, 56 – мішалка; 50 – прес; 51, 52, 58 – плавильник; 53, 54 – збірник нафталіну; 55 – кристалізатор; 57 – центрифуга; 59 – збірник нафталіну

На рисунку 1с сира смола зі складу сировини з температурою 75–80 °С подається в нижню секцію радіантної частини трубчастої печі 29, де нагрівається до 130 °С і поступає у випарник першої ступені 30. Пари з випарника охолоджуються і надходять в сепаратор 32. Зневоднена смола прокачується спочатку через конвекційну, а потім через радіантні секції трубчастої печі, де нагрівається до 395–405 °С і поступає у випарник другої ступені. Тут смола розділяється на рідкий залишок – пек і пари усіх фракцій. У нижню частину випарника подається перегріта пара, що підігрівается в пароперегрівачі трубчастої печі до 380–400 °С. З нижньої частини випарника пек з температурою ~370 °С направляється в пековий парк. З верхньої частини колони 41 відбирається легке масло, охолоджується і направляється в сепаратор. У рідкому вигляді (боковим відбором) з ректифікаційної колони відбираються: фенольна, нафталінова і поглинальна фракції. З нижньої частини колони 41 виводиться II антраценова фракція. Фракції охолоджуються і прямують на переробку.

Нафталінова фракція після охолодження надходить у напірний бак 46, звідки подається у ванни барабанного кристалізатора, в який також надходить охолоджуюча вода. Потім кристалізований нафталін надходить в мішалку 49 і далі на гаряче пресування в прес 50. Після цього пресований нафталін у вигляді таблеток надходить в плавильники і потім до збірника нафталіну. Частина розплавленого нафталіну з плавильників і відтік з пресу надходять в рецикл процесу.

Систематизувавши результати вивчення технологічної схеми, регламенту, складемо таблиці поточкових даних, необхідних для визначення теплової потужності, що споживається процесами дистиляції бензолу та процесом переробки кам'яно-вугільної смоли.

Теплофізичні дані технологічних потоків схеми двох бензольних відділень та схеми смолопереробного цеху (рис. 1а-с), наведені в (табл. 1–3) відповідно. У таблицях представлені такі характеристики потоків як: початкова (T_s) та кінцева (T_t) температури, розхід потоку (W), теплота пароутворення (r), поточкова теплоємність (CP), теплове навантаження (ΔH) і коефіцієнт тепловіддачі (α).

Таблиця 1 – Поточкові дані процесу дистиляції бензолу на двоколонному агрегаті (рисунок 1а)

№	Назва потоку	Тип	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$W, \text{кг/с}$	$r, \text{Дж/кг}$	$C, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$	$CP, \text{кВт}/^\circ\text{C}$	$\Delta H, \text{кВт}$	$\alpha, \text{кВт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$
1	Обезбензолне масло з колони	Гар	145	30	48,25	-	2,01	96,97	-11151,6	0,3
2,1	Конденсація пари дист. колони	Гар	100	100	5,55	1908			-10589,4	9
2,2	Охолодження пари дист. колони	Гар	130	100	5,55	-	2,1	11,65	-349,65	0,56
3,1	Конденсація пари розділової колони	Гар	74	74	1,38	1816		-	-2506,08	8
3,2	Конденсат пари розділової колони	Гар	74	30	1,38	-	3,23	4,45	-196	0,8
4,1	Поглиналине масло з скрубера	Хол	32	160	50,98	-	2,03	103,49	13246,64	0,3
4,2	Поглиналине масло з скрубера	Хол	160	160	2,78	1920	-	-	5337,6	9
5,1	Підігрів розділової колони	Хол	90	115	3,93	-	1,97	7,73	193,55	0,3
5,2	Підігрів розділової колони	Хол	115	115	1,38	1910	-	-	2635,8	9

При аналізі процесів дистиляції кам'яновугільної смоли і дистиляції бензолу був використаний метод пінч-аналізу, який показав свою ефективність раніше [3–6]. Для визначення навантаження на теплообмінному обладнанні та встановлення потужності гарячих та холодних утиліт, будуємо складові криві процесу [7]. Потоки, які будуть брати участь в інтеграції процесу зображенні на (рис. 2–4) у відповідності з даними наведеними в (табл. 1–3).

З рисунка 2 видно, що теплообмінник 2 має перенос тепла через пінч [7], що додатково збільшує теплові втрати і підкреслює необхідність впровадження енергоощадних технологій на вітчизняних підприємствах, для яких неефективність використання енергії є типовим явищем.

Встановивши потужність рекуперації для процесу дистиляції кам'яновугільної смоли $Q_{REC} = 0$ кВт (рис. 1с) та дистиляції бензолу $Q_{REC} = 9654$ кВт для (рис. 1а), $Q_{REC} = 9570$ кВт для (рис. 1б) будуємо складові криві (рис. 5–7).

Таблиця 2 – Потоківі данні процесу дистиляції бензолу на одноколонному агрегаті (рисунок 16)

№	Назва потоку	Тип	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_T, ^\circ\text{C}$	$W,$ кг/с	$r,$ Дж/кг	$C,$ Дж/(кг· $^\circ\text{C}$)	$CP,$ кВт/ $^\circ\text{C}$	$\Delta H,$ кВт	$\alpha,$ кВт/ ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)
1	Обезбензолене масло з колони	гар	120	30	66,97		2,01	134,6	-12114,9	0,9
2,1	Охолодження пари дист. колони	гар	170	90	5,36		1,705	9,14	-731,1	0,56
2,2	Конденсація пари дист. колони	гар	90	90	5,36	1908	–	–	-10226,88	9
2,3	Охолодження конденсату пари дист. колони	гар	90	30	5,36		3,232	17,32	-1039,4	0,56
3,1	Поглиняльне масло зі скрубера	хол	32	150	69,33		2,03	140,74	16607,2	0,3
3,2	Поглиняльне масло зі скрубера	хол	150	150	5,36	1850	–	–	9916	9

Таблиця 3 – Потоківі данні процесів дистиляції кам'яновугільної смоли та переробки нафталінової фракції (рисунок 1с)

№	Назва потоку	Тип	$T_s,$ $^\circ\text{C}$	$T_T,$ $^\circ\text{C}$	$C,$ кДж/(кг· $^\circ\text{C}$)	$W,$ кг/с	$CP,$ кВт/К	$\Delta H,$ кВт	$\alpha,$ кВт/ ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)
1,1	Пари води 1-ї ступені	гар	130	100	1.89	0.160	0.302	9.063	1.0
1,2	Конденсація пари 1-ї ступені	гар	100	100	$r_1=2257$ кДж·кг $^{-1}$	0.160		360.75	10.0
1,3	Конденсат пари 1-ї ступені	гар	100	50	4.19	0.160	0.670	33.48	0.8
2,1	Пара легкого масла	гар	135	100	2.03	0.043	0.087	3.04	0.5
2,2	Конденсація пари легкого масла	гар	100	100	$r_1=379$ кДж·кг $^{-1}$	0.043		16.22	10.0
2,3	Конденсат парів легкого масла	гар	100	45	2.03	0.043	0.087	4.78	0.5
3	2 антраценова фракція	гар	310	100	1.739	0.856	1.489	312.59	0.3
4	Поглиняльна фракція	гар	265	80	1.567	0.642	1.006	186.13	0.3
5	Нафталінова фракція	гар	210	95	1.785	0.428	0.764	87.85	0.3
6	Фенольна фракція	гар	185	50	1.823	0.171	0.312	42.12	0.3
7,1	Нафталін в кристалізаторі	гар	90	78	1.787	0.750	1.340	16.08	0.1
7,2	Кристалізація нафталіну	гар	78	78	$r_2=149.16$ кДж·кг $^{-1}$	0.750		111.87	0.1
7,3	Нафталін в кристалізаторі	гар	78	60	1.787	0.750	1.340	24.12	0.1
8	Пек	гар	370	170	2.000	2.140	4.280	856.03	0.3
9	Сировинна смола	хол	75	130	1.800	4.44	9.324	512.82	0.3
9,1	Часткове випаровування в сировинній смолі	хол	130	130	$r_1=2300$ кДж·кг $^{-1}$	0.160	-	368	10
10	Зневоднена смола	хол	130	400	2.331	4.280	11.556	3120.2	0.3
11,1	Нафталін через прес	хол	60	78	1.787	0.833	1.489	26.805	0.1
11,2	Плавлення нафталіну в пресі	хол	78	78	$r_2=149.16$ кДж·кг $^{-1}$	0.833		124.303	0.1
11,3	Нафталін через прес	хол	78	100	1.787	0.833	1.489	32.762	0.1
12,1	Нафталін в плавильнику	хол	45	78	1.787	0.417	0.745	24.571	0.1
12,2	Плавлення нафталіну	хол	78	78	$r_2=149.16$ кДж·кг $^{-1}$	0.417		62.152	0.1
12,3	Нафталін в плавильнику	хол	78	105	1.787	0.417	0.745	20.104	0.1

На підставі даних, отриманих після побудови сіткових діаграм (рис. 2–4), і складових кривих (рис. 5–7), визначені: загальне навантаження для гарячих утиліт – $Q_{Hmin}=32997$ кВт; загальне навантаження для холодних утиліт $Q_{Cmin}=31810$ кВт; загальна потужність рекуперації $Q_{REC}=19256$ кВт; ΔT_{min} складає 25°C , 20°C та 302°C відповідно.

Висновки

У результаті проведеного обстеження процесу дистиляції бензолу та процесу переробки кам'яновугільної смоли, зібрані необхідні потоківі дані, які систематизовані і занесені в таблицю. На основі ви-

значених потоків побудовані складові криві. За графіком складових кривих, визначена величина холодних і гарячих утиліт, що споживаються процесами, потужність рекуперації енергії, визначено ΔT_{\min} для кожного процесу. Етап підготовки був завершений успішно, на основі отриманих даних можна проводити подальші розрахунки для обчислення необхідних цільових функцій процесу.

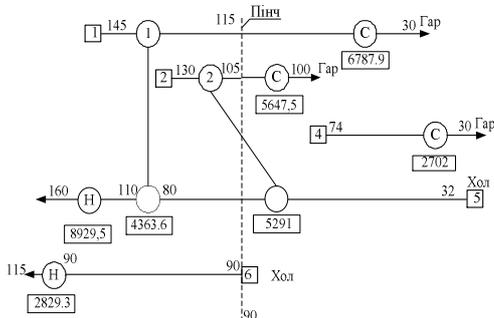


Рисунок 2 – Зображення потоків схеми згідно (табл. 1)
1;2,3 – гарячі потоки, 4,5 – холодні потоки, *H* – нагрівач,
C – охолоджувач
Вертикальні лінії показують локалізацію пінча

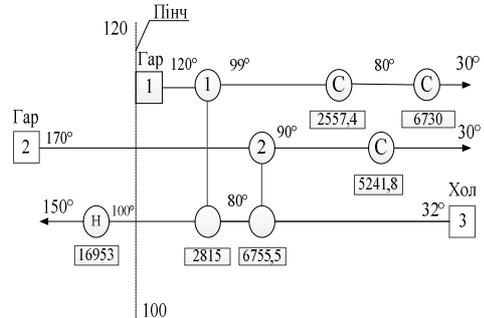


Рисунок 3 – Зображення потоків схеми згідно (табл. 2)
1;2 – гарячі потоки, 3 – холодний потік, *H* – нагрівач,
C – охолоджувач
Вертикальні лінії показують локалізацію пінча

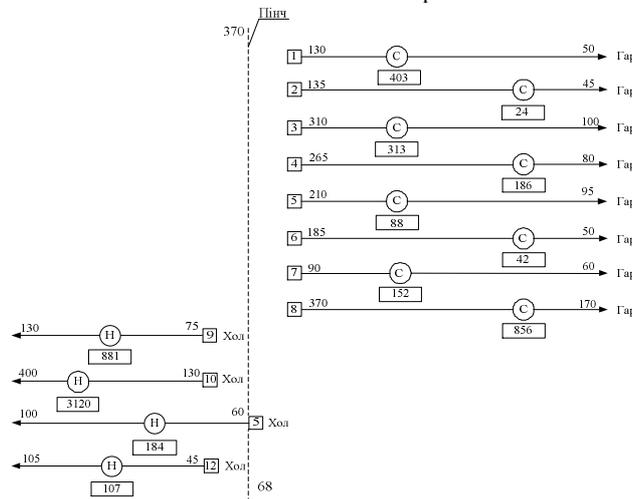


Рисунок 4 – Зображення потоків схеми згідно (табл. 3)
1–8 – гарячі потоки, 9–12 – холодні потоки, *H* – нагрівач, *C* – охолоджувач, вертикальні лінії показують локалізацію пінча

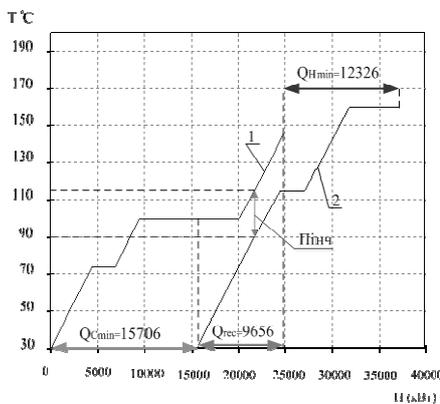


Рисунок 5 – Складові криві для даних з таблиці 1
1,2 – гаряча та холодна складова крива; Q_{Hmin} , Q_{Cmin} – потужність гарячих та холодних утиліт; Q_{REC} – потужність рекуперації енергії

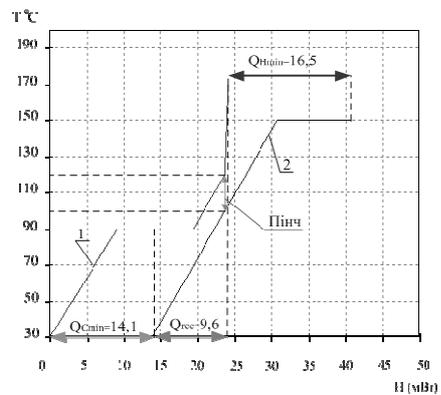


Рисунок 6 – Складові криві для даних з таблиці 2
1,2 – гаряча та холодна складова крива; Q_{Hmin} , Q_{Cmin} – потужність гарячих та холодних утиліт; Q_{REC} – потужність рекуперації енергії

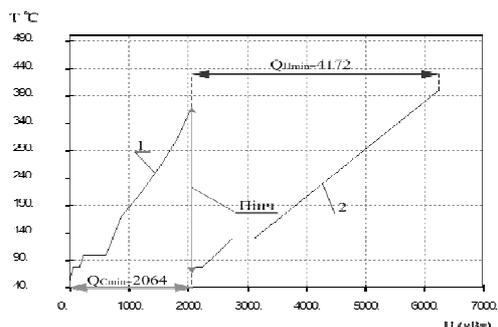


Рисунок 7 – Складові криві для даних з таблиці 3
1,2 – гаряча та холодна складова крива; Q_{Hmin} , Q_{Cmin} – потужність гарячих та холодних утиліт

Подяка

Робота виконана за фінансової підтримки Європейського Союзу в рамках проекту EC Project ENER-FP7-296003-EFENIS.

Література

1. Ukraine policy review. // International Energy Agency, France 2006. – 384 P.
2. Кресс Л.А. Реконструкция бензольного отделения коксохимического производства / Л.А. Кресс, С.В. Кракунов // Кокс и химия. – М.: 2005. – № 10. – С. 19–22.
3. Foo, D. Minimum Units Targeting and Network Evolution for Batch Heat Exchanger Network / D. Foo, Y. Chew, C. Lee // Applied Thermal Engineering. – 2008. – vol. 28. – №. 16. – P. 2089–2099.
4. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., Создание оптимальной теплообменной системы в процессе дистилляции каменноугольной смолы / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, Л.М. УЛЬЕВ, С.А. БОЛДЫРЕВ // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – № 2. – С. 85–90.
5. Tovazshneanski L.L. The Heat Integration in Process of Producing the Pitch From Coal Tar / L.L. Tovazshneanski, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev, S.A. Boldyryev, V.V. Djelali, V.N. Rubchevsky, V.M. Volokh // Proceedings of 4th Conference Process Integration, Modelling and Optimisation for energy Saving and Pollution Reduction (PRESS'01). – Florence 20–23 May, 2001. – P. 425–430.
6. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л. Анализ потенциала энергосбережения в процессе дистилляции каменноугольной смолы / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, Л.М. УЛЬЕВ, А.Ю. ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО, С.А. БОЛДЫРЕВ, В.Н. РУБЧЕВСКИЙ, В.М. ВОЛОХ // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків НТУ «ХПІ», 2001 – №2. – С. 16–22.
7. Основы интеграции тепловых процессов. / [Смит Р. Клемеш Й., ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., КАПУСТЕНКО П.А., УЛЬЕВ Л.М.]. – Харків: НТУ «ХПІ», 2000. – 458 с.

Bibliography (transliterated)

1. Ukraine policy review. International Energy Agency, France 2006. – 384 P.
2. Kress L.A. Rekonstrukcija benzol'nogo otdelenija koksohimicheskogo proizvodstva L.A. Kress, S.V. Krjakunov Koks i himija. – М.: 2005. – # 10. – p. 19–22.
3. Foo, D. Minimum Units Targeting and Network Evolution for Batch Heat Exchanger Network D. Foo, Y. Chew, C. Lee Applied Thermal Engineering. – 2008. – vol. 28. – #. 16. – P. 2089–2099.
4. Tovazhnjanskij L.L., Sozdanie optimal'noj teploobmennoj sistemy v processe distilljicii ka-mennougol'noj smoly L.L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, L.M. Ul'ev, S.A. Boldyrev Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – Har'kov: NTU «HPI», 2004. – # 2. – p. 85–90.
5. Tovazshneanski L.L. The Heat Integration in Process of Producing the Pitch From Coal Tar L.L. Tovazshneanski, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev, S.A. Boldyryev, V.V. Djelali, V.N. Rubchevsky, V.M. Volokh Proceedings of 4th Conference Process Integration, Modelling and Optimisation for energy Saving and Pollution Reduction (PRESS'01). – Florence 20–23 May, 2001. – P. 425–430.
6. Tovazhnjanskij L.L. Analiz potenciala jenergoberezhennja v processe distilljicii kamennougol'-noj smoly L.L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, L.M. Ul'ev, A.Ju. Perevertajlenko, S.A. Boldyrev, V.N. Rubchevskij, V.M. Voloh Integrovani tehnologii ta energoberezhannja. – Har'kov NTU «HPI», 2001 – #2. – p. 16–22.

7. Osnovy integracii teplovyh processov. [Smit R. Klemesh J., Tovazhnjanskij L.L., Kapustenko P.A., Ul'ev L.M.]. – Har'kov: NTU «NPI», 2000. – 458 p.

УДК 66.045.1

Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М., Васильев М.А.

ЭКСТРАКЦИЯ ДАННЫХ СМОЛОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕХА И ДВУХ БЕНЗОЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ С ОБЩИМ СЫРЬЕВЫМ ПОТОКОМ

Представленная работа посвящена изучению процесса дистилляции каменноугольной смолы и процесса дистилляции бензола на коксохимическом производстве. Определены целевые значения горячих и холодных утилит существующего процесса. Определены все технологические потоки, которые необходимы для интеграции процесса с помощью метода пинч-анализа. Построены составные кривые для существующего ΔT_{min} , определена мощность рекуперации и мощность горячих и холодных утилит.

Tovazhnyansky L., Kapustenko P., Ulyev L., Vasilyev M.

DATA DEFINITION FOR TWO BENZENE DIVISIONS AND THE TAR DISTILLING SHOP WITH COMMON SUPPLY STREAM

The process of benzene distillation and process of coal tar distillation being typical for East European countries is analyzed in this paper. The pinch analysis method was selected to perform a reconstruction project. Technological streams that are needed for the integration process by using the pinch analysis method were identified. The data obtained will be used to further the process of reconstruction.

УДК 678.073.002

Васильев И.В., Капустенко П.А., Перевертайленко А.Ю., Илюнин О.О., Бухкало С.И., Арсеньева О.П.

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕКОТОРЫХ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ТЕРМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

Твердые бытовые отходы (ТБО) в настоящее время рассматриваются как в определенной степени возобновляемый вид топлива, что особенно важно при росте цен на традиционные углеводородные энергоносители и неравномерное распределение месторождений этих энергоносителей на земном шаре. Процессу получения энергии из отходов (Waste-to-Energy) уделяется все большее внимание, поэтому выбор технологий для осуществления этого процесса должен учитывать как техническое их совершенство, так и воздействие на окружающую среду [1].

Анализ проблемы переработки ТБО проводят с учетом: санитарно-экологических, экономических и логистических аспектов. Квалификационная характеристика ТБО должна иметь первичную классификационную характеристику самих отходов и способов их образования. Анализ литературных данных [2–4] позволяет классифицировать морфологический состав ТБО в достаточно приближенном виде без привязки к конкретному региону (табл. 1).

Таблица 1 – Пределы изменения морфологического состава ТБО

Вид отходов	от (% от общей массы)	до (% от общей массы)
Бумага	21	65
Пищевые отходы	10	50
Металл	0	10
Дерево	0	5
Текстиль	1	7
Полимерные материалы	1	6
Стекло	1	10
Неклассифицируемые части	0	20
Мелкий отсев	0	25

Следует отметить постоянный рост упаковочных материалов и тары, что приводит к перераспределению количества бумаги и полимерных материалов в сторону увеличения.

Возможности, тенденции и опыт обращения с твердыми бытовыми отходами, наглядно характеризует практика обращения с ТБО в странах ЕС. Например, в Швеции отходы утилизируются разными способами: с целью получения изделий или других продуктов – 31 %; сожженные на установках для долгосрочного захоронения – 14 %. В результате использования второго способа – сжигания, получено 9,3 ТВт·ч тепловой и 0,7 ТВт·ч электрической энергии, однако, есть один существенный недостаток этого способа – специалисты оценивают, что 5 % общих выбросов диоксинов связано с сжиганием отходов [4]. В Украине уже накоплено более 3,5 млн. тонн ТБО и их количество ежегодно в мире возрастает на 5–6 % [2].

Термические методы конверсии ТБО позволяют значительно уменьшить объемы отходов, высвободив, таким образом площади, занимаемые или отводимые под полигоны для захоронения этих отходов.

К термическим методам конверсии ТБО относятся сжигание (инсинерация), пиролиз и газификация. Сжигание производится в мусоросжигательных установках, достаточно полно описанных в [5]. Горение ТБО представляет собой сложный физико-химический процесс, включающий как химические реакции деструкции, сшивания и карбонизации, так и физические процессы интенсивных тепло- и массопередачи. Реакции в конденсированной фазе фактически приводят к двум основным типам продуктов: 1) газообразным веществам (горючим и негорючим) и 2) твердым продуктам (углеродсодержащим и минеральным). Специфической особенностью химии пламени является наличие сложного пространственного распределения температуры и концентраций исходных и промежуточных веществ и продуктов, а для полимерных материалов – наличие огромного числа разнообразных продуктов деструкции как в конденсированной, так и в газовой, предпламенной области. Сжигание ТБО в большинстве установок, существующих на сегодняшний день, сопровождается выбросами вредных веществ, в том числе, диоксинов и фуранов, уровни которых не соответствуют постоянно ужесточающимся нормативным документам, касающимся регулирования уровней выбросов в окружающую среду вредных веществ, озоноопасных и парниковых газов. При горении полимеров, например, наблюдаются такие критические явления, как сниже-

ние температуры пламени, что приводит к скачкообразному переходу от одного режима окисления – горения – к другому – очень медленному окислению и, в свою очередь, к увеличению номенклатуры вредных выбросов в окружающую среду.

Сокращение количества вредных выбросов может быть достигнуто при термической обработке подготовленных ТБО при температурах выше 1100–1200 °С. К таким технологиям относятся: высокотемпературное сжигание, газификация, а также пиролиз с последующим сжиганием и/или газификацией продуктов пиролиза. Упомянутые технологии получили название усовершенствованных технологий термической конверсии (УТТК) ТБО и, согласно соответствующим Директивам Еврокомиссии могут быть отнесены к наилучшим известным технологиям термической конверсии ТБО [5].

Высокотемпературное сжигание (инсинерация). Данная технология, в основном, используется в Европе для сжигания опасных отходов во вращающихся печах, однако процесс может быть применен и для других типов печей [5]. В данной технологии температура в печи доводится до 1100–1400 °С, что дает следующие преимущества по сравнению с аналогичным процессом, проходящим при 800–900 °С:

- органические вещества разлагаются, остаток составляет менее 1 %;
- значительно снижается содержание углеводородов и окиси углерода в дымовых газах;
- образуется инертный шлак, связывающий тяжелые металлы.

Недостатками данной технологии являются :

- при высоких температурах сжигания образуется дополнительное количество NO_x;
- не исключается наличие тяжелых металлов в испаренной фазе, поэтому необходима организация температурного режима, не допускающего их возгонки и перехода в газовую фазу;
- требуется сжигание топлива, если нижняя теплота сгорания ТБО недостаточна;
- невысокая полигенеративность: тепло и возможность выработки электроэнергии;
- большая дороговизна, и, следовательно, экономическая нецелесообразность улавливания двуокиси углерода.

Плазменная инсинерация ТБО. Плазменные технологии начинают все чаще использоваться в настоящее время для переработки отходов, особенно опасных отходов. Эти технологии базируются на использовании воздушных плазмотронов, которые обеспечивают температуры термоконверсии утилизируемых материалов 2500–4000 °С. Происходит термохимическое разложение органических компонентов отходов до атомарного уровня и их ионизация; в случае инсинерации конечными продуктами являются продукты сжигания и витрифицированный шлак. В настоящее время в работе находятся две промышленные установки по термоконверсии ТБО в Японии (28т/сут. и 300т/сут.). После серии научно-исследовательских работ плазменные инсинераторы производительностью 5–7 т/сут. по отходам применяются с 2004 г. на кораблях ВМС США [6,7].

Существенной частью установки плазменной инсинерации ТБО является система очистки дымовых газов. Полигенеративность плазменных инсинерационных установок аналогична полигенеративности обычных мусоросжигательных установок, описанных выше.

Пиролиз. В процессе пиролиза происходит дегазация ТБО в отсутствие кислорода. Процесс проходит при температурах от 400 до 800 °С. Продуктами процесса являются пиролизный газ и твердый остаток – пиролизный кокс. Низшая теплотворная способность пиролизного газа, полученного при конверсии ТБО составляет 5–15 МДж/м³, образование пиролизного газа происходит в температурном диапазоне 400–600 °С, а образование пиролизного кокса – при температуре выше 500 °С [5]. Пиролизный газ может быть использован как низкокалорийное топливо, а пиролизный кокс является хорошим сырьем для процесса газификации. Пиролизный кокс также может сжигаться вместе с углем и углеводородным топливом (ко-инсинерация), то есть пиролизная установка по конверсии ТБО может быть интегрирована в технологическую схему, например, тепловой электростанции .

Использование жидкой фазы, образующейся на промежуточной стадии процесса и имеющей преимущественно органическую природу, для получения топлив может существенно повысить полигенеративность пиролиза в процессе конверсии ТБО. Тем не менее, пиролиз целесообразно применять вместе с другими видами УТТК.

Газификация. Процесс газификации ТБО, как и газификации других видов топлива, представляет собой совокупность гетерогенных и гомогенных реакций в результате которых образуется газовая смесь, состоящая в основном из окиси углерода, водорода, метана, а также более высших углеводородов, количество которых незначительно. Образуется также широкий спектр продуктов побочных реакций, номенклатура и количество которых зависит от состава газифицируемого ТБО. Среди них следует отметить такие соединения, как H₂S, COS, HCN, HCL, CS₂ и другие. Газовая смесь, образованная в результате газификации, получила название синтез-газа, который может быть использован как сырье в производстве аммиака, метанола, топлив по методу Фишера-Тропша, водорода, а также электроэнергии и тепла по комбинированному циклу [8].

Таким образом, газификация обладает среди известных УТТК наивысшей степенью полигенеративности. Процесс газификации проводится при температурах выше 900 °С, в качестве газифицирующих агентов могут служить воздух, воздух и водяной пар, кислород и водяной пар. Установка газификации ТБО содержит узел подготовки сырья, установку разделения воздуха в случае применения кислорода в качестве газифицирующего агента, комплексную установку очистки синтез-газа от продуктов побочных реакций и других вредных примесей.

По данным, приведенным в [4,9], газификация ТБО применяется с 1979 г., в основном в Японии, однако этот процесс применяется для относительно узкого круга отходов, например, полимеров, использованных автомобильных шин, отходов биомассы, отходов медицинского происхождения. Основными технологиями газификации ТБО являются технологии компаний Nippon Steel, Thermoselect, Alstrom/Ebara, Entech, в которых используются газификаторы с неподвижным, либо кипящим слоем.

При газификации ТБО необходимо принимать во внимание следующие факторы:

- подготовка сырья: поступающие отходы должны пройти процесс измельчения до размеров, обусловленных конструкцией газификатора; желательнее также провести дополнительную сортировку – чем меньше номенклатура отходов, тем лучше проходит процесс газификации;
- тип газификатора оказывает влияние на структуру систем очистки синтез-газа и очистки воды, используемой в технологическом процессе;
- некоторые технологии используют дополнительно топливо;
- дальнейшее использование синтез-газа влияет на структуру газификационного агрегата, так как могут быть введены дополнительные стадии подготовки синтез-газа, например, конверсия окиси углерода.

Плазменная газификация предполагает использование плазмы для газификации ТБО. Процесс термотрансформации ТБО происходит в плазменном термотрансформере (ПТТФ). Отходы вводятся в верхнюю часть ПТТФ и поступают в нижнюю часть аппарата, где расположен плазменный факел, генерирующий высокую температуру. Органические материалы трансформируются в сырой синтез-газ, который затем либо используется, либо сжигается с помощью той же плазмы (разновидность плазменной инсинерации). Неорганическая составляющая ТБО витрифицируется и выводится из нижней части ПТТФ.

В настоящее время в ПТТФ, использующихся для термоконверсии различных отходов используется плазма дугового разряда, для чего необходима электроэнергия. Анализ данных, касающихся подобного типа ПТТФ [10,11], показывает, что 30–60 % электроэнергии, которую возможно выработать с помощью плазменно-газификационной установки необходимо затратить на «собственные нужды» ПТТФ. Тем не менее, известные промышленные инсталляции по термической конверсии отходов с помощью ПТТФ используют плазму дугового разряда. Плазменная термоконверсия применяется в настоящее время для переработки узкой номенклатуры отходов, включая опасные отходы, а также побочные продукты сжигания ТБО на мусоросжигательных заводах [12].

В настоящее время разработаны конструкции ПТТФ, использующих энергию микроволнового излучения (СВЧ) [11,13,14]. Подобные аппараты обладают следующими преимуществами:

- энергия микроволнового излучения вкладывается в обрабатываемые ТБО объемно и практически полностью;
- практически не требуется дополнительного топлива;
- интенсифицируются процессы окисления, разложения и обеззараживания ТБО, причем обеззараживание происходит до термического разогрева за счет воздействия СВЧ-полей излучения;
- упрощается и улучшается управление в автоматическом режиме за счет снижения инерционности;
- расход электроэнергии на «собственные нужды» не превышает 10 %.

Техническая база СВЧ техники в настоящее время хорошо развита во многих странах. Данный тип ПТТФ может быть перспективен для более гетерогенных ТБО и может позволить упростить подготовку исходных ТБО к термической переработке. Экономическая эффективность рассмотренных УТТК зависит от следующих факторов:

- от состава ТБО, влияющего на режим работы установки и на количество генерируемой энергии;
- налаженности подвоза ТБО, что влияет на непрерывность работы установки;
- установленных на законодательном уровне тарифов, либо размеров платежей за утилизацию отходов.

Перспективным направлением термической конверсии ТБО является *ко-газификация* ТБО с другими видами топлива.

Выводы. Применение УТТК для конверсии ТБО перспективно для решения таких важных задач, как высвобождение площадей от размещаемых на них ТБО, возможность выработки энергии, а также ряда товарных продуктов, не повышая отрицательного воздействия на окружающую среду. Для повышения эффективности применения УТТК важен такой фактор, как предварительная сортировка ТБО. Весьма

перспективними являються плазменні технології, тем не менше здесь важна интеграция этих технологий с наилучшими известными технологиями очистки синтез-газа и дымовых газов, а также воды, применяемой в технологическом цикле.

Работа выполнена при поддержке ЕС FP7, проект DISKNET No.PIRSES-GA-2011-294933.

Литература

1. A.Nemet, P.S.Varbanov, J.J.Klemes. Waste-to-Energy Technologies Performance Evaluation Techniques." *Chemical Engineering Transactions*", 2011, v.25, p. 513–520.
2. Касимов А.М., Товажнянский Л.Л., Тошинский В.И., Сталинский Д.В. Управление опасными промышленными отходами. Современные проблемы и решения.– Харьков, НТУ «ХПИ», 2009.– 500 с.
3. А.И. Свириденко. Проблемы выбора утилизации твердых бытовых отходов. Материалы симпозиума «Материальный и энергетический рециклинг бытовых отходов», Гродно, 2004, с. 4–9.
4. Waste Conservation Technologies. SWANA Applied Research Foundation: Report, December, 2011, 72 pp.
5. EUROPEAN COMMISSION: Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, August, 2006
6. B.D. Sartwell et al. Studies on the Application of Plasma Arc Technology to Destruction of Shipboard Waste. Report No.NRL/MR/6170-99-8353; Naval Research Laboratory, Washington, DC, April 5, 1999, 157 pp.
7. P.Carabin, G.Holcroft. Plasma Resource Recovery Technology – Converting Converting Waste to Energy and Valuable Products. – Proceedings of the 13th North American Waste to Energy Conference (NAWTEC13-3155), May 23-25, 2005, Orlando, Florida, USA, p. 71–79.
8. Товажнянський Л.Л., Капустенко П.А., Перевертайленко А.Ю., Бухкало С.И., Арсеньева О.П. Анализ теплообменных систем установок газификации нефтеперерабатывающих производств – Интегровані технології та енергозбереження –Харків: НТУ «ХПИ», 2011. – №3, с. 54–62.
9. J.Bower, K.Fernholz. Plasma Gasification: An Examination of the Health, Safety, and Environmental Facilities.–Dovetail Partners Inc. Presentation.
10. C. Ducharme, N. Themelis. Analysis of Thermal Plasma-assisted Waste-to Energy Processes. – Proceedings of the 18th Annual North American Waste-to-Energy Conference (NAWTEC18-3582), May 11–13, 2010, Orlando, Florida ,USA, 6 pp.
11. ФГУП Московский радиотехнический институт РАН. Переработка ТБО с использованием микроволнового излучения.< www.mrtiran.ru >, 22.03.2013.
12. J.-S. Chang. Thermal Plasma Solid Waste and Water Treatment: A Critical Review. "International Journal of Plasma Environmental Science and Technology", 2009, v.3, No.2, p. 67–84.
13. Application of Microwave Plasma Technology in Production of Bioenergy./B.Semb, B.Radejko, I.V.Vasylyev; Plasma Kraft AS Presentation.
14. L.Sanchez. Method and Apparatus for Plasma Gasification of Carbonic Material by Means of Microwave Radiation. European Patent Application EP 2 163 597 A1 Int. class. C10J3/18, publ.15.01.2009: ABA Research S.A.

Bibliography (transliterated)

1. A.Nemet, P.S.Varbanov, J.J.Klemes. Waste-to-Energy Technologies Performance Evaluation Techniques." *Chemical Engineering Transactions*", 2011, v.25, p. 513–520.
2. Kasimov A.M., Tovazhnjanskij L.L., Toshinskij V.I., Stalinskij D.V. Upravlenie opasnymi promyshlennymi othodami. Sovremennye problemy i reshenija.– Har'kov, NTU «HPI», 2009.– 500 p.
3. A.I. Sviridenok. Problemy vybora utilizacii tverdyh bytovyh othodov. Materialy simpoziuma «Material'nyj i jenergeticheskij recikling bytovyh othodov», Grodno, 2004, p. 4–9.
4. Waste Conservation Technologies. SWANA Applied Research Foundation: Report, December, 2011, 72 pp.
5. EUROPEAN COMMISSION: Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, August, 2006
6. B.D. Sartwell et al. Studies on the Application of Plasma Arc Technology to Destruction of Shipboard Waste. Report No.NRL/MR/6170-99-8353; Naval Research Laboratory, Washington, DC, April 5, 1999, 157 pp.
7. P.Carabin, G.Holcroft. Plasma Resource Recovery Technology – Converting Converting Waste to Energy and Valuable Products. – Proceedings of the 13th North American Waste to Energy Conference (NAWTEC13-3155), May 23-25, 2005, Orlando, Florida, USA, p. 71–79.

8. Tovazhnjans'kij L.L., Kapustenko P.A., Perevertajlenko A.Ju., Buhkalo S.I., Arsen'eva O.P. Analiz teploobmennih stistem ustanovok gazifikacii neftepererabatyvajushhих proizvodstv – Integrovani tehnologii ta energozberezhenja –Harkiv: NTU «HPI», 2011. – #3, s. 54–62.

9. J.Bower, K.Fernholz. Plasma Gasification: An Examination of the Health, Safety, and Environmental Facilities.-Dovetail Partners Inc. Presentation.

10. C. Ducharme, N. Themelis. Analysis of Thermal Plasma-assisted Waste-to Energy Processes. – Proceedings of the 18th Annual North American Waste-to-Energy Conference (NAWTEC18-3582), May 11–13, 2010, Orlando, Florida ,USA, 6 pp.

11. FGUP Moskovskij radiotekhnicheskij institut RAN. Pererabotka TBO s ispol'zovaniem mikro-volnovogo izlucheniya.< www.mrtiran.ru >, 22.03.2013.

12. J.-S. Chang. Thermal Plasma Solid Waste and Water Treatment: A Critical Review. “International Journal of Plasma Environmental Science and Technology”, 2009, v.3, No.2, p. 67–84.

13. Application of Microwave Plasma Technology in Production of Bioenergy./B.Semb, B.Radejko, I.V.Vasylyev; Plasma Kraft AS Presentation.

14. L.Sanchez. Method and Apparatus for Plasma Gasification of Carbonic Material by Means of Microwave Radiation. European Patent Application EP 2 163 597 A1 Int. class. C10J3/18, publ.15.01.2009: ABA Research S.A.

УДК 678.073.002

Васильєв І.В., Капустенко П.О., Перевертайленко О.Ю., Ілюнін О.О., Бухкало С.І., Арсеньєва О.П.

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДЕЯКИХ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТЕРМІЧНОЇ КОНВЕРСІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Проведено аналітичний огляд таких сучасних технологій термічної конверсії твердих побутових відходів, як високотемпературна інсінерація, піроліз, газифікація, включаючи плазмову газифікацію. Визначено переваги та недоліки технологій. Зазначено важливість інтеграції цих технологій з найкращими відомими технологіями з очистки синтез-газу, димових газів та води, що використовується.

Vasylyev I.V., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Yu., Ilunin O.O., Buhkhalo S.I., Arsenyeva O.P.

PROBLEMS AND PERSPECTIVES OF SOME ADVANCED THERMAL RECYCLING TECHNOLOGIES OF MUNICIPAL WASTES

The survey of some advanced thermal recycling technologies such as high-temperature incineration, pyrolysis, gasification including plasma-aided gasification for municipal wastes conversion was carried out. The advantages and disadvantages of each technology are discussed. It was underlined on integration of mentioned above technologies with best available techniques of gas cleaning and water treatment.

Ульєв Л.М., Нечипоренко Д.Д.

ПИНЧ-РЕКОНСТРУКЦІЯ СЕКЦІЙ ГІДРООЧИСТКИ І КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА НА УСТАНОВКЕ Л-35-11/600

Актуальность и постановка задачи

Падение объемов производства нефтепродуктов в Украине фиксируется уже несколько лет подряд. На сегодняшний день в Украине работают два из семи производств по выпуску нефтепродуктов. Хозяева украинских НПЗ все как один утверждают, что кризис в отрасли связан с дороговизной импортируемой ими российской нефти и высоким уровнем ввозной пошлины. Действительно, продукция украинских заводов не выдерживает ценовой конкуренции с топливом из стран Таможенного союза, где действует льготный режим поставок российской нефти. Но при этом главной причиной падения объемов производства в отрасли является именно техническая отсталость заводов, ставшая следствием нежелания их владельцев инвестировать в развитие предприятий. [1].

В январе-феврале 2013 г. объем переработки нефти на НПЗ Украины составил 480.2 тыс. т (на 65.3 % меньше, чем в январе-феврале 2012 г.), в феврале 2013 г. – 229.7 тыс. т (на 65.7 % меньше). В течение января-февраля 2013 г. на НПЗ Украины поставлено 513.1 тыс. т нефти (на 59.7% меньше), в феврале – 223.6 тыс. т (на 63.7 % меньше) [2].

Украинским нефтеперерабатывающим заводам необходима модернизация. Снижение удельного энергопотребления можно достичь путем модернизации отдельных систем производства, установок и заводов в целом, а также совершенствованием отдельных производственных операций.

Применение методов теплоэнергетической интеграции на установках нефте- и газоперерабатывающих заводов позволяет добиться существенной финансовой экономии за счет минимизации использования внешних энергоносителей, путем максимизации рекуперации теплоты в рамках рассматриваемой энерготехнологической системы [3].

В представленной работе проведено обследование блоков гидроочистки сырья и каталитического риформинга установки каталитического риформинга Л-35-11/600. Для данных блоков установки была проведена пинч-диагностика и выполнен сравнительный экономический анализ эффективности их работы после предложенной реконструкции.

Описание технологического процесса

Установка каталитического риформинга Л-35-11/600 предназначена для переработки широкой фракции прямогонного бензина (при температуре 85–180 °С) методом каталитического риформирования с целью получения компонентов бензина с октановым числом по моторному методу 78–85 пунктов.

Данная установка состоит из трёх основных отделений:

- блока гидроочистки сырья;
- блока каталитического риформинга;
- блока деэтаннизации и стабилизации катализата.

Для того чтобы выполнить пинч-проектирование установки целиком необходимо провести пинч-диагностику и выполнить пинч-проектирование для всех блоков установки.

В представленной работе проведено обследование блоков гидроочистки сырья и каталитического риформинга установки каталитического риформинга Л-35-11/600. Технологическая схема данных блоков представлена на рисунке 1.

Сырьё – прямогонный бензин поступает на блок гидроочистки сырья, где в реакторе Р-1 на алюмокобальтомолибденовом катализаторе в присутствии водорода происходит гидроочистка сырья и затем очищенное от сернистых соединений сырьё поступает на блок каталитического риформинга в реактор Р-2, в котором на платинорениевом катализаторе протекает реакция ароматизации сырья. Проектом предусмотрено проведение процесса каталитического риформинга в три ступени, для чего газосырьевая смесь последовательно поступает в реакторы Р-2,3,4/1,2 и после охлаждения поступает на блок деэтаннизации и стабилизации катализата.

Для данных блоков установки была проведена пинч-диагностика.

Анализ данной схемы показал значительный потенциал энергосбережения, содержащийся как в элементарных потерях тепловой энергии в окружающую среду, так и в нерациональной технологии теплообмена между технологическими потоками.

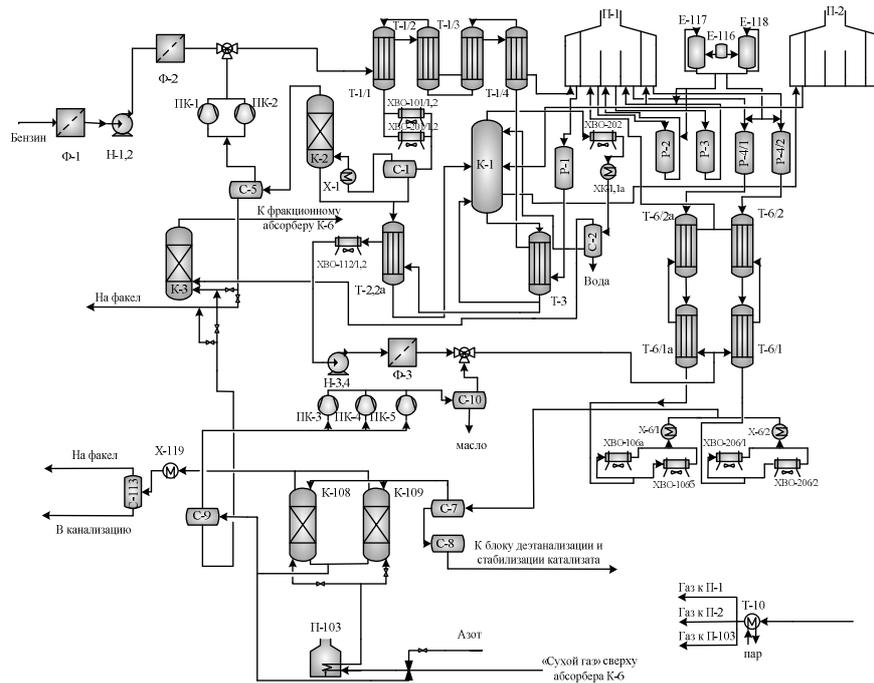
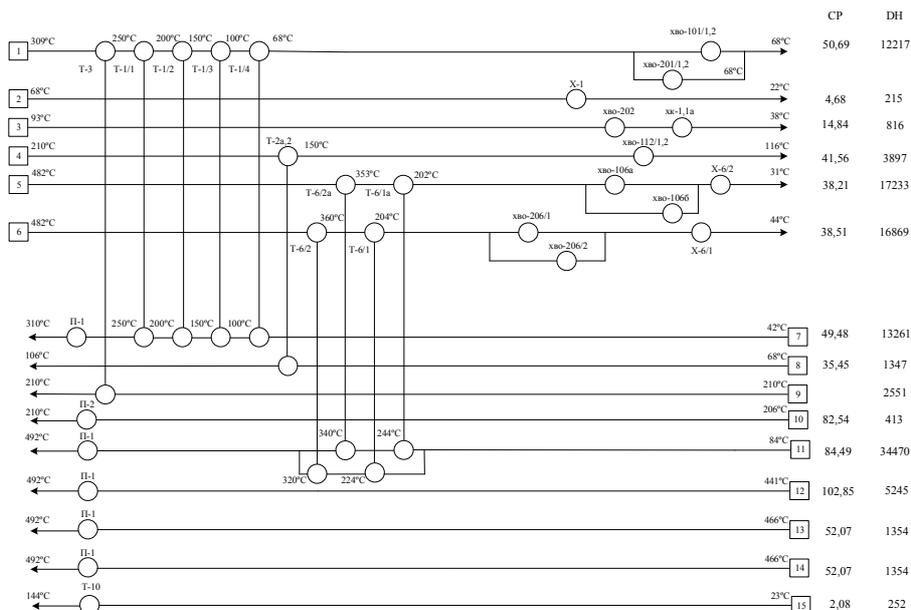


Рисунок 1 – Технологическая схема существующего процесса гидроочистки и каталитического риформинга установки Л-35-11/600

Экстракция технологических данных

Систематизировав результаты изучения технологической схемы, регламента, были получены технологические потоковые данные процесса гидроочистки и каталитического риформинга установки Л-35-11/600 [4]. На основании этих данных была построена сеточная диаграмма (рис. 2), были определены теплообменные связи между технологическими потоками. А также была посчитана мощность рекуперации теплоты, которая составила для блока гидроочистки 12 МВт, для блока каталитического риформинга 21 МВт и для этих двух блоков совместно 32 МВт.



Используя полученные технологические потоковые данные процесса гидроочистки и каталитического риформинга, были построены составные кривые для существующего процесса (рис. 3).

Для снижения энергопотребления в химико-технологической системе необходимо уменьшение минимальной разности температур ΔT_{\min} между теплоносителями в теплообменных аппаратах [5]. Это достигается путем сближения составных кривых вдоль энтальпийной оси.

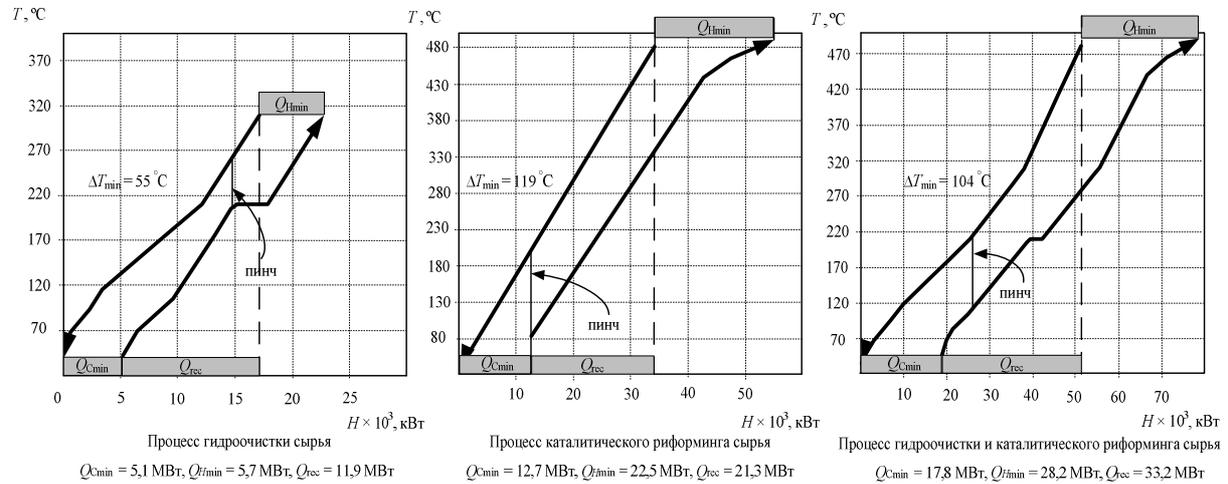


Рисунок 3 – Составные кривые существующего процесса гидроочистки и каталитического риформинга сырья:
 $Q_{H\min}$, $Q_{C\min}$, Q_{rec} – потребляемая мощность горячих утилит, холодных утилит и мощность рекуперации

Теплоэнергетическая интеграция

Для того чтобы экономически оптимально интегрировать рассматриваемый процесс, необходимо определить наиболее экономически важные значения, которые существенно влияют на приведенную стоимость проекта [6].

Стоимость горячих утилит, использованных в процессе, примем равной 400 долл. США за 1 кВт год, с учетом того, что в году 8000 рабочих часов.

Стоимость холодных утилит принимаем 40 долл. США за 1 кВт год.

Используя цены на теплообменное оборудование, полученные от его производителей, можно еще до выполнения проекта реконструкции оценить необходимые капиталовложения и срок их окупаемости. Итак, капитальную стоимость одного теплообменного аппарата можно определить выражением:

$$\text{Кап. стоимость} = A_T + B_T (S)^c, \quad (1)$$

где $A_T = 40000$ долл. США – стоимость установки одного теплообменного аппарата; B_T – коэффициент, эквивалентный стоимости 1 м² площади поверхности теплообмена, для кожухотрубчатых теплообменных аппаратов $B_T = 500$; S – площадь поверхности теплообмена теплообменного аппарата; c – коэффициент, отражающий нелинейную зависимость стоимости теплообменника от величины его поверхности теплообмена, $c = 0,87$.

Расчет дисконтированных величин стоимостей проекта позволяет определить значение минимальной разности температур между теплоносителями в будущей системе рекуперации тепловой энергии с учетом существующего теплообменного оборудования (рис. 4).

Процесс гидроочистки сырья, выполненный с системой теплообмена при $\Delta T_{\min} = 10$ °C будет работать в экономически оптимальном режиме. Для процесса каталитического риформинга данное значение составит $\Delta T_{\min} = 20$ °C. А для выполнения совместного проекта этих процессов значение $\Delta T_{\min} = 14$ °C.

Полученные значения позволяют определить возможный потенциал энергосбережения данного проекта реконструкции [7, 8]. Для этого были построены новые составные кривые процессов гидроочистки и каталитического риформинга с соответствующей разницей температур (рис. 5).

Внедрение пинч-проектирования позволяет уменьшить энергопотребление для процесса гидроочистки сырья на 2,2 МВт, срок окупаемости предложенного проекта реконструкции составит около 7 месяцев. Для процесса каталитического риформинга энергопотребление снижается на 6,4 МВт, срок окупаемости проекта около 10 месяцев.

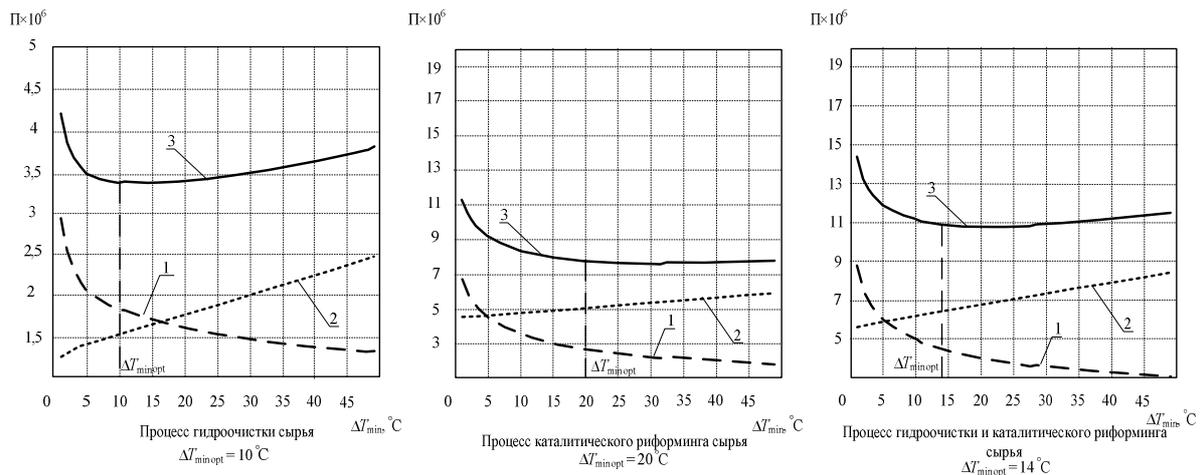


Рисунок 4 – Зависимость приведенной стоимости от ΔT_{min}
1 – инвестиции в оборудование; 2 – энергия; 3 – общая стоимость

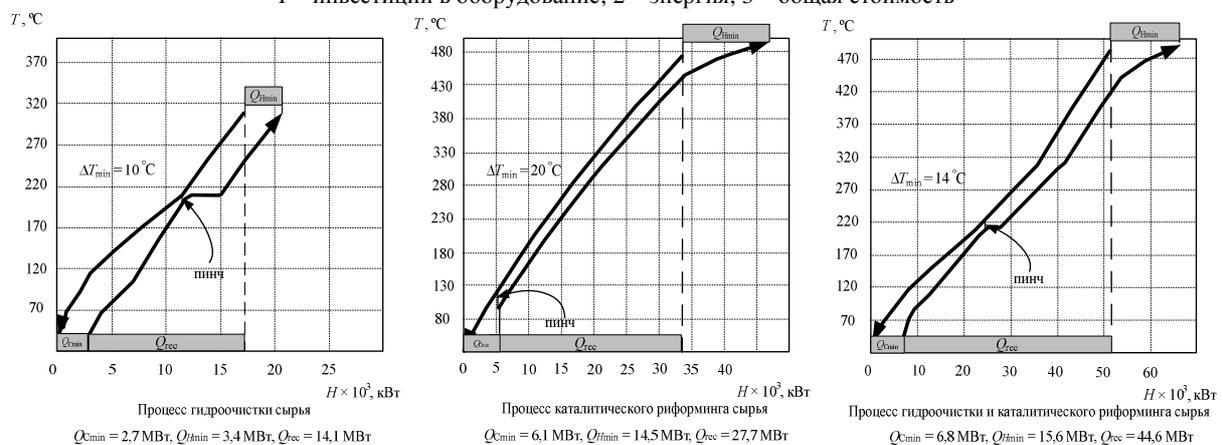


Рисунок 5 – Составные кривые интегрированного процесса гидроочистки и каталитического риформинга сырья

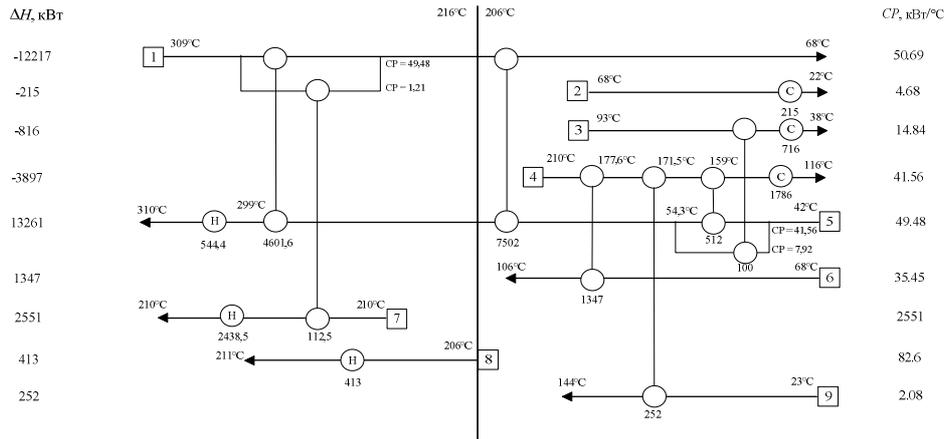
Для совместной интеграции процессов гидроочистки сырья и каталитического риформинга энергопотребление снижается на 11,4 МВт, срок окупаемости проекта около 8 месяцев.

В соответствии с принципами пинч-анализа были построены новые сеточные диаграммы для процессов гидроочистки и каталитического риформинга с учетом полученной разницы температур для данных процессов (рис. 6). Пинч на данном рисунке представлен вертикальной пунктирной линией, разделяющей сеточную диаграмму на две области – область выше пинча и область ниже пинча.

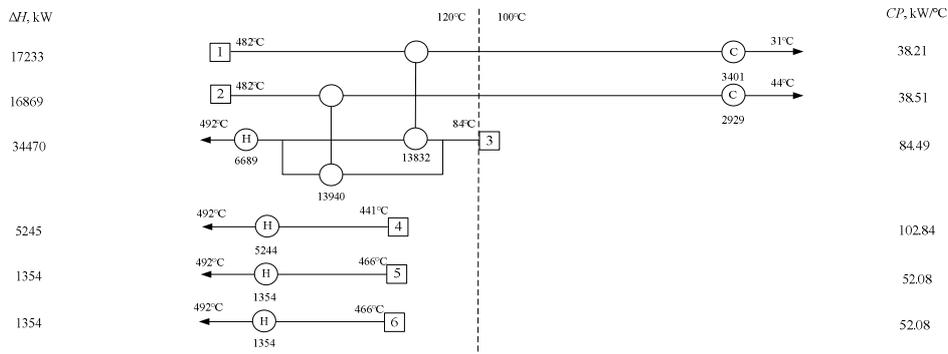
Как видно из рис. 6, переход к совместной сеточной диаграмме процессов гидроочистки и каталитического риформинга сырья просто путем соединения сеточных диаграмм данных процессов невозможен. Необходимо проводить модернизацию либо каждого блока данной установки в отдельности, либо совместно. На основе предварительных расчетов был сделан вывод, что применение пинч методов для данных блоков установки наиболее экономически целесообразно проводить для двух блоков совместно.

Заклучение

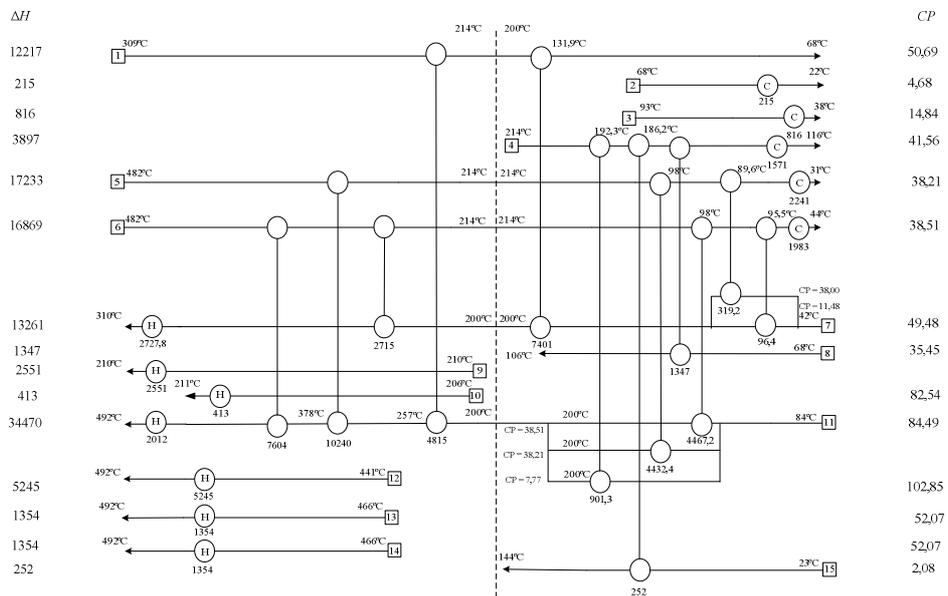
В результате применения пинч-методов получена новая система теплообмена для процессов гидроочистки и каталитического риформинга сырья на установке каталитического риформинга Л-35-11/600. Определены излишние энергозатраты в существующей схеме и проведена пинч-интеграция как для каждого блока в отдельности так и для совместного проекта реконструкции данных блоков. Внедрение пинч-проектирования позволяет снизить энергопотребление для блока гидроочистки сырья на 2,2 МВт. Для блока каталитического риформинга энергопотребление снижается на 6,4 МВт. Для совместной интеграции блоков гидроочистки сырья и каталитического риформинга энергопотребление снижается на 11,4 МВт. Была проведена сравнительная характеристика интегрированных процессов. На основе экономически обоснованных расчетов был сделан вывод, что наиболее целесообразным является проведение реконструкции для двух данных блоков совместно, а не по отдельности.



Сеточная диаграмма процесса гидроочистки сырья



Сеточная диаграмма процесса каталитического риформинга сырья



Сеточная диаграмм процессов гидроочистки и каталитического риформинга сырья

Рисунок 6 – Сеточная диаграмма существующего процесса гидроочистки и каталитического риформинга сырья

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Европейского Союза в рамках проекта EC Project ENER-FP7-296003-EFENIS.

Литература

1. Бизнес-портал о реальном секторе экономики ugmk.info [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.marketing-ua.com>
2. Переработка нефти в Украине в январе-феврале 2013 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.uaenergy.com.ua>
3. Клемеш Й. Применение метода пинч-анализа для проектирования энергосберегающих установок нефтепереработки / Й. Клемеш, Ю.Т. Костенко, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ и др. // ТОХТ – 1999. – Т. 33, №4. – с. 420–431.
4. Ульєв Л.М. Экстракция данных для интеграции процессов гидроочистки и каталитического риформинга установки Л-35-11/600 / Л.М. Ульєв, Д.Д. Нечипоренко, К.В. Недилько // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25: Тезисы докладов XXV Международной научной конференции. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012 – С. 103
5. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко, Л.М. Ульєв – Харьков: ХГПУ, 2000. – 457 с.
6. Kemp, Ian C. Pinch Analysis and Process Integration – A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy (2nd Edition), 2007. – 391 p.
7. Ульєв Л.М. Энергосберегающий потенциал процесса гидроочистки на установке каталитического риформинга / Л.М. Ульєв, Д.Д. Нечипоренко // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – № 2. – С. 20–28.
8. Ульєв Л.М. Энергосберегающий потенциал в секции каталитического риформинга на установке Л-35-11/600 / Л.М. Ульєв, Д.Д. Нечипоренко, О.Ю. Валенова // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – №39. – С. 98–108.

Bibliography (transliterated)

1. Biznes-portal o real'nom sektore jekonomiki ugmk.info [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.marketing-ua.com>
2. Pererabotka nefiti v Ukraine v janvare-fevrale 2013 g. [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.uaenergy.com.ua>
3. Klemesh J. Primenenie metoda pinch-analiza dlja proektirovanija jenergosberegajushhih ustanovok neftepererabotki J. Klemesh, Ju.T. Kostenko, L.L. Tovazhnjanskij i dr. TOHT – 1999. – T. 33, #4. – p. 420–431.
4. Ul'ev L.M. Jekstrakcija dannyh dlja integracii processov gidroochistki i kataliticheskogo riforminga ustanovki L-35-11/600 L.M. Ul'ev, D.D. Nechiporenko, K.V. Nedil'ko Matematicheskie metody v tehnike i tehnologijah – ММТТ-25: Tezisy dokladov XXV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. – Har'kov: NTU «HPI», 2012 – p. 103
5. Smit R. Osnovy integracii teplovyh processov R. Smit, J. Klemesh, L.L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, L.M. Ul'ev – Har'kov: HGPU, 2000. – 457 p.
6. Kemp, Ian C. Pinch Analysis and Process Integration – A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy (2nd Edition), 2007. – 391 p.
7. Ul'ev L.M. Jenergosberegajushhij potencial processa gidroochistki na ustanovke kataliticheskogo riforminga L.M. Ul'ev, D.D. Nechiporenko Integrovani tehnologii ta energozberezhenija. – Harkiv: NTU «HPI», 2011. – # 2. – p. 20–28.
8. Ul'ev L.M. Jenergosberegajushhij potencial v sekcii kataliticheskogo riforminga na ustanovke L-35-11/600 L.M. Ul'ev, D.D. Nechiporenko, O.Ju. Valenova Visnik NTU «HPI». – Harkiv: NTU «HPI», 2012. – #39. – p. 98–108.

УДК 658.26:665.63:338.45

Ульєв Л.М., Нечипоренко Д.Д.

**ПІНЧ-РЕКОНСТРУКЦІЯ СЕКЦІЙ ГІДРООЧИЩЕННЯ І КАТАЛІТИЧНОГО РИФОРМІНГУ
НА УСТАНОВЦІ Л-35-11/600**

У результаті застосування пінч-методів отримана нова система теплообміну для процесів гідроочищення і каталітичного риформінгу сировини на установці каталітичного риформінгу L-35-11/600. Визначено зайві енерговитрати в існуючій схемі і проведена пінч-інтеграція як для кожного блоку окремо так і для спільного проекту реконструкції даних блоків. Впровадження пінч-проектуювання дозволяє знизити енергоспоживання для блоку гідроочищення сировини на 2,2 МВт. Для блоку каталітичного риформінгу енергоспоживання знижується на 6,4 МВт. Для спільної інтеграції блоків гідроочищення сировини і каталітичного риформінгу енергоспоживання знижується на 11,4 МВт. Була проведена порівняльна характеристика інтегрованих процесів. На основі економічно обґрунтованих розрахунків було зроблено висновок, що найбільш доцільним є проведення реконструкції для двох даних блоків спільно, а не окремо.

Ulyev L.M., Nechiporenko D.D.

**PINCH RECONSTRUCTION OF HYDROTREATING AND CATALYTIC REFORMING SECTIONS
ON UNIT L-35-11/600**

Pinch diagnostics for hydrotreating section and catalytic reforming section of catalytic reforming unit L-35-11/600 was carried out. Comparative economic analysis of their effectiveness after the proposed retrofit was performed for each section separately and for the total their flowsheet. The implementation of the pinch design allows to reduce power consumption for hydrotreating process by 2,2 MW, the payback period of the proposed project will be about 7 months. For the catalytic reforming section power consumption is reduced by 6,4 MW, the payback period of the proposed project will be about 10 months. Energy consumption for joint integration of hydrotreating section and catalytic reforming section reduced by 11,4 MW, the payback period of the proposed project will be about 8 months. Therefore, it was concluded that pinch design for these sections of catalytic reforming unit L-35-11/600 the most advisable to carry out for the two sections together.

УДК 355.4; 623.40

Бирюков И.Ю.

МАСКИРОВОЧНАЯ ОКРАСКА НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ И МЕТОДЫ ИХ РАСПОЗНАНИЯ

Одним из основных и наиболее длительных этапов решения огневой задачи является обнаружение неподвижных объектов БТТ противника [1–2]. Поэтому практически важно определение таких характеристик комплекса системы управления огнем (СУО), которые обеспечивают решение задачи обнаружения с вероятностью 0,8 и более, что означает фактически достоверное событие за определенный отрезок времени.

Маскировка есть совокупность мероприятий, имеющих целью сокрытие от противника истинной обстановки. Эти мероприятия состоят из приемов и средств, назначенных для противодействия наблюдению для того, чтобы результаты наблюдения приводили противника к неправильной оценке обстановки [3–5].

Чтобы достигнуть уменьшения заметности своих сил, применяют разнообразные средства маскировки, представленные на рисунке 1.

Результаты наблюдений зависят в конечном итоге от зрительного восприятия (за исключением тех случаев, когда глаз заменяют особыми оптическими приемниками), а само зрительное восприятие существенно зависит от условий наблюдения.

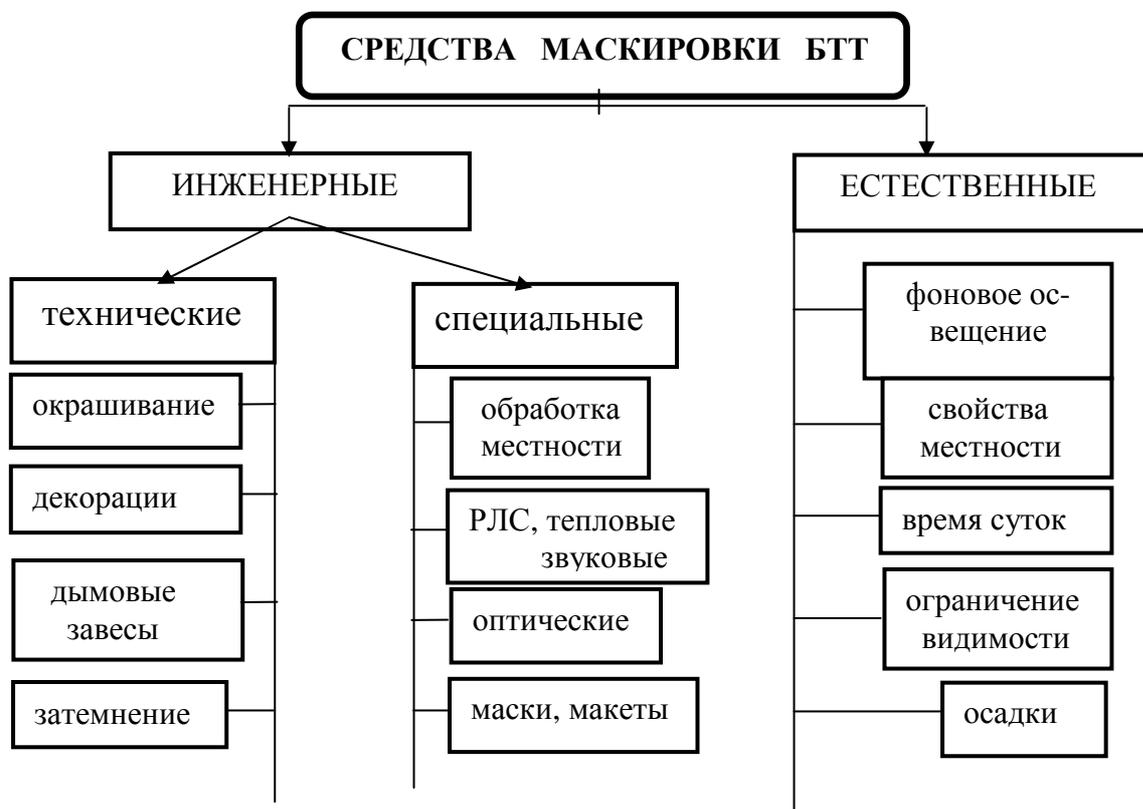


Рисунок 1 – Средства маскировки БТТ

Поэтому оптическая маскировка должна обязательно учитывать: в каких условиях применяются маскировочные средства (днем, ночью или в сумерках), расстояние для эффективной маскировки и каким оптическим средствам она должна противодействовать.

Разница этих двух понятий заключается в требуемой точности совпадения оптических свойств объекта и фона. Однако в действительности естественные фоны всегда отличаются некоторой пестротой: яркость их и цвет никогда не бывает равномерными. Это позволяет стремиться не к точному совпадению свойств объекта и фона, а к достаточному приближению этих свойств, чтобы сходными оказались только их характер.

Уменьшение заметности объекта (рис. 2) может быть достигнуто при наличии надлежащего соответствия между коэффициентом отражения его окраски и коэффициентом яркости фона [3].

Если окрасить объект БТТ одноцветной краской, то распределение яркости по видимой его поверхности не будет равномерным, что вызвано конструктивными особенностями этого класса техники, предста-

вители которой имеют многочисленные затененные места – тени от башенно-пулеметной установки, навесного оборудования, ниши надгусеничных полок и т.д. (рис. 3).

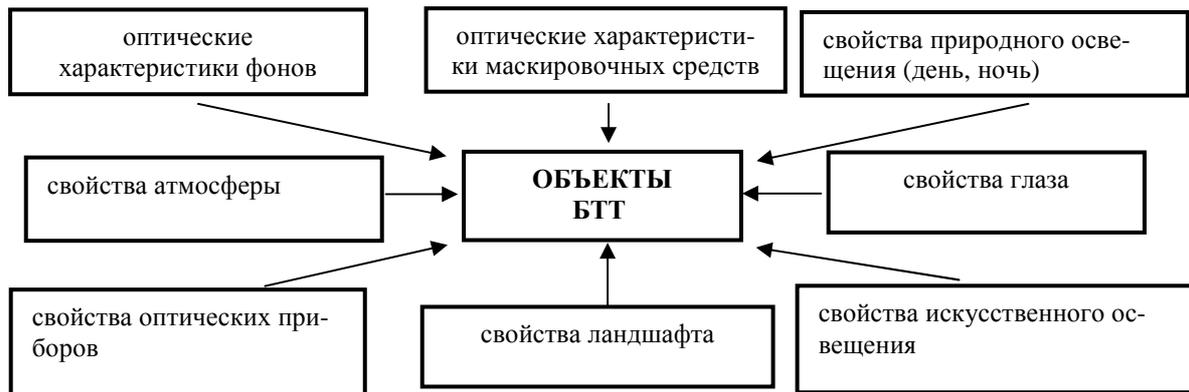


Рисунок 2 – К прямой задаче маскировки для уменьшения заметности объекта БТТ

Однако защитная окраска не может обеспечить универсальной маскировки объекта БТТ при всех возможных условиях освещения и местности, которые к тому же в течение суток могут быстро и резко изменяться.

Поэтому при выборе защитной окраски БТТ исходят из наиболее вероятной погоды в данное время года на соответствующей местности и для надежности ее маскировки в бою применяют камуфляж – искажающее окрашивание объекта пятнами разных цветов и разной яркости.

Кроме цветной имитации камуфляжа, немаловажное значение имеет и рисунок камуфляжа, основной задачей которого является искажение геометрической формы и размеров маскируемого объекта, что затрудняет не только его обнаружение, но и идентификацию.

Действие камуфляжа для некоторой заданной дистанции наблюдения l определяют как ширину пятен и полос по формуле

$$a = \frac{kl}{3300}, \tag{1}$$

где a – ширина пятен в м; k – коэффициент, учитывающий величину объекта БТТ; l – дистанция м; $\frac{1}{3300}$ в этой формуле есть тангенс угла в 1 минуту, т.е. наименьшего различимого глазом углового размера предмета.



Рисунок 3 – Употребительные способы оптической маскировки БТТ

Тени создают характерный рисунок, контрастирующий с основной окраской объекта БТТ, и подчеркивают рельеф его поверхности, помогающий точно его опознать и идентифицировать. На большом расстоянии тени сливаются одна с другой и уменьшают общий коэффициент отражения видимой проекции объекта. Это ведет к повышению его скрытности, поскольку искажает восприятие его формы и тем самым препятствует идентификации его как цели.

В настоящее время существуют оптические приборы, которые способны увеличивать изображение и его чувствительность к яркости этого изображения [6–7]. Учитывая тот факт, что все искусственные покрытия отличаются по яркости от фона, что обусловлено природным коэффициентом отражения и по-

глошення, то этот физический эффект может быть положен в основу вспомогательной оптической системы распознавания целей.

Сегментация подразделяет изображение на составляющие его области или объекты. Та степень детализации, до которой доводится такое разделение, зависит от решаемой задачи. Сегментацию следует прекратить, когда интересующие объекты оказываются изолированными. Поэтому не имеет смысла проводить сегментацию мельче того уровня детализации, который необходим при заданной дистанции до цели [8–9].

Алгоритмы сегментации изображений, как правило, основываются на одном из двух базовых свойств сигнала яркости: разрывности и однородности. В первом случае подход состоит в разбиении изображения на основании резких изменений сигнала, таких, как перепады яркости на изображении.

Вторая категория методов использует разбиение изображения на области, однородные в смысле заранее выбранных критериев.

Методами, пригодными для обнаружения разрывов яркости, таких как точки, линии и перепады, а также процедуры выделения контуров являются основой алгоритмов сегментации [9].

Рассмотрим методы обнаружения трех основных видов разрывов яркости, применяющихся в цифровых изображениях: точек, линий и перепадов. Наиболее общим способом поиска разрывов является обработка изображения с помощью скользящей маски, показана на рис. 4, где отклик в каждой точке изображения задается выражением

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9 = \sum_{i=1}^9 w_i z_i, \quad (2)$$

где z – значение яркости пикселя, соответствующего коэффициенту w маски.

Отклик маски приписывается позиции ее центрального элемента.

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

Рисунок 4 – Маска размером 3 x 3 элемента

Обнаружение отдельных изолированных точек на изображении не представляет сложности. Воспользуемся маской, показанной на рис. 5, и будем считать, что в том пикселе, куда попадает центр маски, обнаружена точка при условии:

$$|R| \geq T, \quad (3)$$

где T – неотрицательный порог, а R вычисляется в соответствии с (2). По существу в (3) измеряется взвешенная сумма разностей значений центрального элемента и его соседей.

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

Рисунок 5 – Маска для обнаружения точек

Обнаружение линий является следующим по уровню сложности рис. 6. При скольжении первой маски по изображению, наиболее сильный отклик будет на горизонтальных линиях толщиной в один пиксель; причем, если яркость фона одинакова, то отклик будет максимальным, когда линия проходит горизонтально через центр маски. Вторая маска на рис. 6 дает наибольший отклик на линиях, проходящих под углом $+45^\circ$; третья – на вертикальных линиях; четвертая – на проходящих под углом -45° . Эти направления можно выявить и по тому признаку, что предпочтительные направления каждой из масок характеризуются большими значениями весовых коэффициентов (а именно 2), чем любые другие направления.

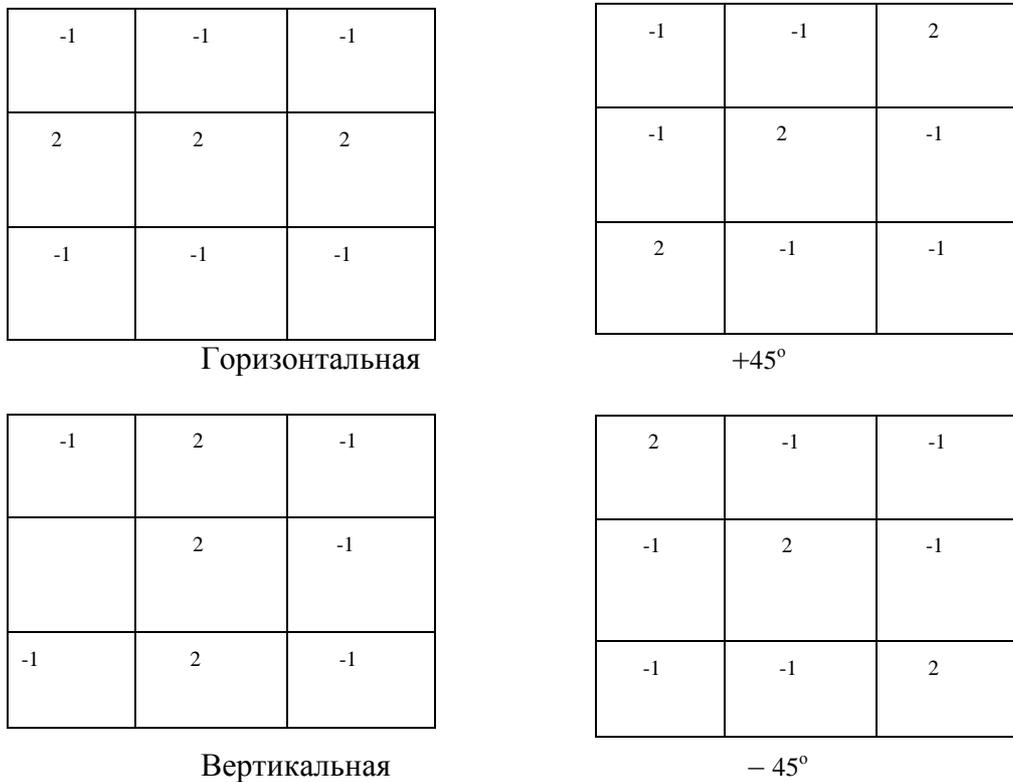


Рисунок 6 – Набор масок

Обозначим через R_1, R_2, R_3 и R_4 отклики масок, показанных на рис. 6 (слева направо), где значения R_i вычисляются согласно соотношению (1). Будем считать, что изображение обрабатывается независимо с помощью каждой из этих масок. Если в некоторой точке изображения $|R_i| > |R_j|$ для всех $j \neq i$, то эта точка, скорее всего, связана с линией, ориентированной вдоль направления маски i .

Если интерес представляют все линии в изображении, которые ориентированы по направлению данной маски, достаточно пройти этой маской по всему изображению, сравнивая абсолютное значение результата с заданным порогом. Оставшиеся при этом точки соответствуют наибольшим значениям отклика, которые в случае линий толщиной в один пиксель наиболее близки к направлению, определяемому маской.

Обнаружение перепадов яркости является общим подходом к нахождению интерпретируемых разрывов на яркостной картине. Для обнаружения перепадов яркости на изображении применяются дискретные аналоги производных первого и второго порядка [9].

По существу понятие перепада яркости является «локальным», тогда как граница области, благодаря способу ее задания, включает в себе более глобальное представление. Корректное определение перепада требует выбора способа измерения яркостных переходов на изображении (рис. 7).

На рис. 8(а) приведено изображение, участок которого крупным планом был показан на рис. 7(б). На рис. 8(б) приведен горизонтальный профиль перепада яркости между двумя областями. На этом рисунке также показаны первая и вторая производные такого профиля яркости. При движении вдоль профиля слева направо первая производная имеет разрыв в начале и конце наклонного участка, постоянное положительное значение на протяжении склона, и равна нулю в областях постоянства яркости.

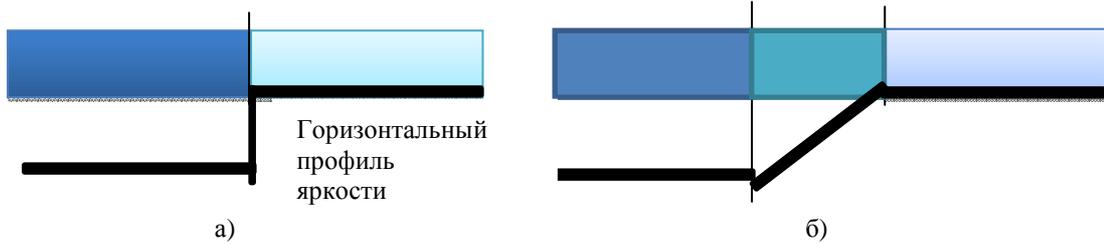


Рисунок 7 – Модель идеального (а) и наклонного (б) перепадов яркости.
Кривизна наклона обратно пропорциональна степени размытости перепада

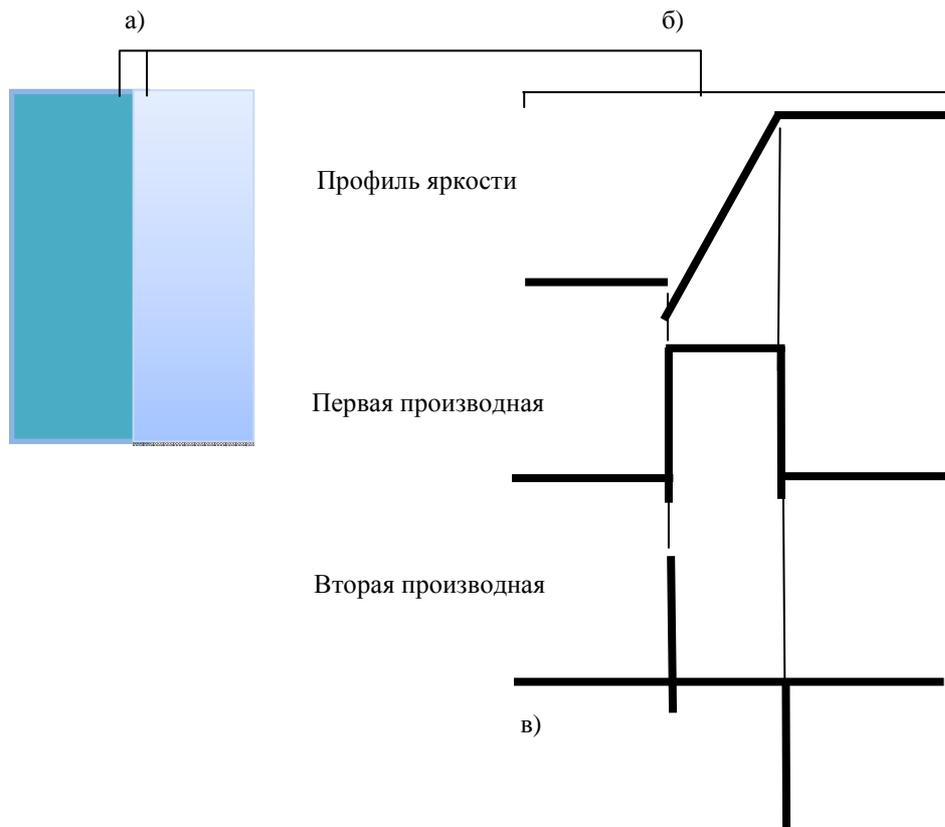


Рисунок 8 – Две области, разделенные вертикальным перепадом яркости (а).
Горизонтальный профиль яркости вблизи перепада (б). Первая и вторая производные этой зависимости (в)

Вторая производная положительна в точке перехода от наклонного участка к светлому, и равна нулю на линейном склоне и участках постоянной яркости. В случае обратного перепада яркости (от светлого к темному) знаки производных на рис. 8(б) изменятся на противоположные.

Можно заключить, что значение первой производной может использоваться для обнаружения наличия перепада яркости в каждой точке изображения (т.е. выяснения, находится ли точка на наклонном участке).

Таким образом, главная задача при сегментации состоит в том, чтобы собрать из участков контура более длинные контуры [9].

Для проведения поиска на графе с учетом оценки используется известный алгоритм:

Шаг 1: Отметить начальную вершину как "открытую" и установить

$$g(s) = 0.$$

Шаг 2: Если не осталось ни одной "открытой" вершины, то аварийное завершение; в противном случае продолжить выполнение.

Шаг 3: Отметить как "закрытую" ту из "открытых" вершин n , для которой оценка $r(n)$ является минимальной. В случае неоднозначности минимума выбор осуществляется произвольно, но всегда в пользу целевой вершины, если таковая есть.

Шаг 4: Если n является целевой вершиной, то завершение работы; путь, являющийся решением, находится обратным прослеживанием по ранее запомненным указателям. В противном случае продолжить выполнение.

Шаг 5: Расширить вершину n , т. е. построить все выходящие из нее дуги к вершинам-потомкам. Если таких нет, то перейти к шагу 2.

Шаг 6: Если вершина – потомок n_j еще не отмечена, то установить

$$g(n_j) = g(n) + c(n, n_j),$$

отметить вершину n_j , как "открытую" и запомнить указатель от нее обратно к n . Перейти к шагу 2.

Шаг 7: Если вершина-потомок n_j отмечена как "открытая" или "закрытая", то обновить для нее значение стоимости минимального пути из начальной вершины:

$$g'(n_j) = \min[g(n_j), g(n) + c(n, n_j)].$$

Пометить как "открытые" те из "закрытых" вершин-потомков n , для которых значения g' при этом уменьшились, и переадресовать на вершину n их прежние обратные указатели. Перейти к шагу 2.

Изложенный алгоритм не гарантирует нахождение пути минимальной стоимости; его достоинством является быстроедействие, достигнутое благодаря использованию эвристик. Если нет никакой эвристической информации (т. е. $h=0$), эта процедура сводится к алгоритму равных стоимостей. Применительно к объектам БТТ эвристической информацией являются типовые портреты этих объектов.

С целью получения данных для формирования базы данных о типовых портретах объектов бронетанковой техники проведено фотографирование БТР-60ПБ, БТР-70, БТР-80, БТР-3 [10-12]. При этом была разработана программа мероприятий, которая включала:

- произвольную выборку бронетранспортеров;
- подготовку площадок для размещения БТР (I, II, III, IV)
- установку БТР на горизонтальной площадке;
- подготовку мест для размещения оптико-цифровой аппаратуры (1–3);
- установку оптико-цифровой аппаратуры;
- обзор расстояний до бронетранспортеров (50, 100, 200, 400 м.);
- фотографическую фиксацию состояния бронетранспортеров на всех расстояниях под углом: 0° , 45° , 90° ;
- получение фотоматериалов;
- обработку результатов наблюдений;
- нахождение оптической заметности объектов БТТ.

Исследованию подвергались бронетранспортеры: БТР-60ПБ № 006, БТР-70 № 005, БТР-80 № 003 и БТР-3 (У).

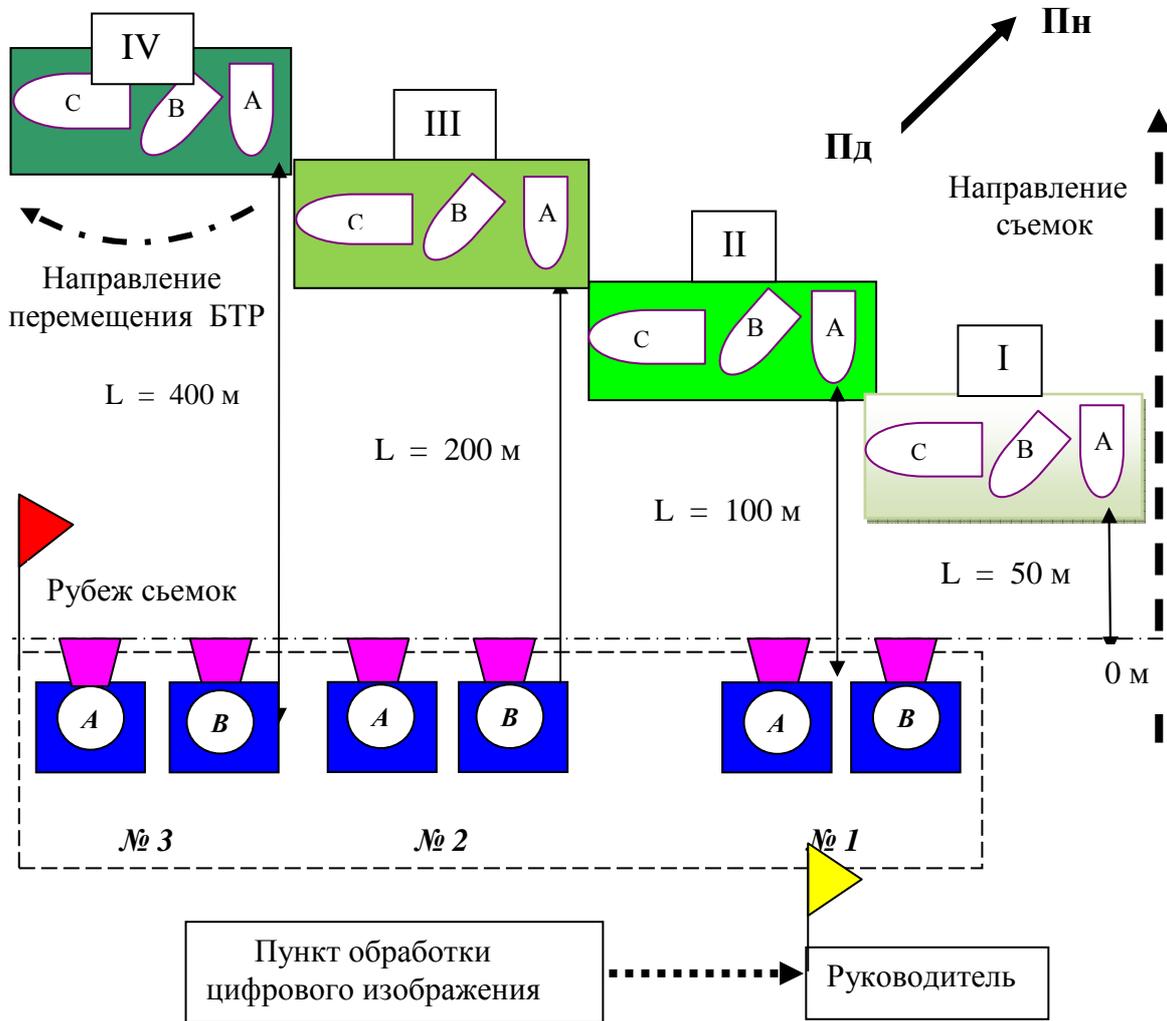
Работа проводилась при нормальных условиях в соответствии с паспортными данными оптико-цифровых приборов (А, В): температура окружающего воздуха, $^\circ\text{C}$ – $+15$; атмосферное давление, кПа (мм рт.ст.) – 100 (750); напряжение питания батарей, В – 17,5; влажность воздуха, % – 50; ветер умеренный, м/с – 2–5 (рис. 9).



Рисунок 9 – Проведение эксперимента

Исследование проводилось на участке тактического поля учебного центра Академии внутренних

войск МВД Украины в течение трех дней (рис. 10). В ходе проведения исследований выполнялись работы по программе, с использованием зеркального фотоаппарата: Nikon – D5100 (A), и цифровой фотокамеры CoolPix – S8200White (B).



ОБОЗНАЧЕНИЯ:

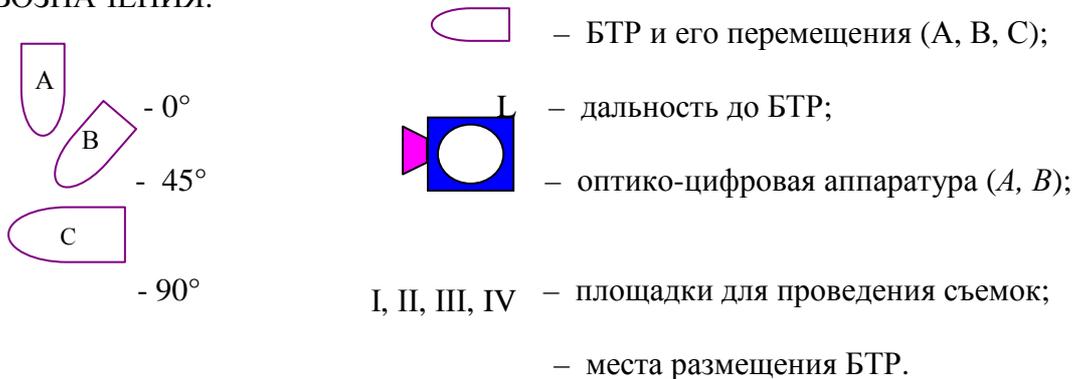


Рисунок 10 – Схема проведения эксперимента

Фотографирование БТР проводилось на полярных углах 0°, 45° и 90° (всего 3 положения), при этом оптико-цифровая аппаратура устанавливалась на расстоянии 1,5 метра от поверхности земли и бронетранспортеры размещались на соответствующих расстояниях (50, 100, 200, 400 м).

В результате проведенного научного эксперимента было сделано более 400 цифровых изображений БТР-60ПБ, БТР-70, БТР-80 и БТР-3 (рис. 11) и получены данные, которые решают поставленную задачу создания цифрового блока, содержащего оптические портреты целей БТТ.



Рисунок 11 – Оптико-цифровой блок БТТ.
Натурные фотографии БТР (а). Цифровые изображения БТР (б)

Оптические приборы имеют ограничения по дальности, даже в случае применения панкратических приборов [13]. Кроме этого, среднее время разведки зависит от характеристик оператора, которые ограничены его физическими возможностями [14].

Поэтому можно прогнозировать, что в перспективе необходимо применение дополнительных средств разведки [15], обеспечивающих:

- сканирование местности;
- цифровая обработка изображений;
- фиксация границ разных перепадов цвета и яркости;
- построение геометрических фигур по линиям резких перепадов;
- идентификация полученной фигуры с типовыми целями;

– выдача рекомендацій екіпажу по обстеженню виявленої БТТ.

В качестве одного из решений данной задачи может быть рекомендована дополнительная подсистема оптико-цифровой разведки наземных целей, в основе оптической компоненты которой лежат алгоритм и банк типовых оптических портретов БТТ.

Литература

1. Анипко О.Б., Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники. Монография. Х.: НТУ “ХПИ”, 2008. – 196 с.
2. Анипко О.Б., Бирюков И.Ю., Бусяк Ю.М. Комплексная проблема поиска и обнаружения наземных целей для поражения вооружением, установленным на объектах бронетехники. // Сборник научных трудов АВВ МВС Украины. – Вып. № 2(18). – Х., 2011. – С. 24–31.
3. Левитин И.Б. Видимость и маскировка кораблей. М.: Воен. Изд., 1949 – 148 с.
4. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. М.: Советское радио, 1977 – 336 с.
5. Бекетов А.А., Белоконь А.П., Чермашенцев С.Г. Маскировка действий подразделений СВ. М.: Воен. Изд., 1976 – 140 с.
6. Разумовский И.Т. Оптика на военной службе. М.: Изд. ДОСААФ СССР, 1980 – 96 с.
7. Кулагин С.В., Гоменюк А.С., Дикарев В.Н. и др. Оптико-механические приборы – 2 изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1984 – 352 с.
8. Дж. Ту, Гонсалес Р. Принцип распознавания образов. М.: Изд. “Мир”, 1978 – 414 с.
9. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005 – 1071 с.
10. Техническое описание и инструкция по эксплуатации бронетранспортера БТР-60ПБ. Воениздат. 1974. – 240 с.
11. Техническое описание и инструкция по эксплуатации бронетранспортера БТР-70. Воениздат. 1980. – 560 с.
12. Техническое описание и инструкция по эксплуатации бронетранспортера БТР-80. Воениздат, (часть № 1). 1989. – 280 с.
13. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М., Бирюков И.Ю., Цебрюк И.В. Модель разведки противника для повышения технических характеристик системы управления огнем танка. // Системи озброєння і військова техніка. – Вып. № 2. – Х., 2012 – С. 107–110.
14. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М., Бирюков И.Ю. Аналитическая марковская модель функционирования комплекса вооружения танка. // Системи озброєння і військова техніка. – Вып. № 3. – Х., 2012 – С. 2 – 5.
15. Анипко О.Б., Бирюков И.Ю. Физические принципы разработки и создания комплексной оптико-акустической подсистемы обнаружения наземных целей объектами бронетехники. // Интегрированные технологии и энергосбережение. – Вып. № 3. – Х., 2012. – С. 48–54.

Bibliography (transliterated)

1. Anipko O.B., Borisjuk M.D., Busjak Ju.M. Konceptual'noe proektirovanie ob"ektov bronetankovoj tehniky. Monografija. H.: NTU “HPI”, 2008. – 196 p.
2. Anipko O.B., Birjukov I.Ju., Busjak Ju.M. Kompleksnaja problema poiska i obnaruzhenija nazemnyh celej dlja porazhenija vooruzheniem, ustanovlennym na ob"ektah bronetehniki. Sbornik nauchnyh trudov AVV MVS Ukrainy. – Vyp. # 2(18). – H., 2011. – p. 24–31.
3. Levitin I.B. Vidimost' i maskirovka korablej. M: Voen. Izd., 1949 – 148 p.
4. Abchuk V.A., Suzdal' V.G. Poisk ob"ektov. M.: Sovetskoe radio, 1977 – 336 p.
5. Beketov A.A., Belokon' A.P., Chermashencev S.G. Maskirovka dejstvij podrazdelenij SV. M.: Voen. Izd., 1976 – 140 p.
6. Razumovskij I.T. Optika na voennoj sluzhbe. M.: Izd. DOSAAF SSSR, 1980 – 96 p.
7. Kulagin S.V., Gomenjuk A.S., Dikarev V.N. i dr. Optiko-mehaničeskie pribory – 2 izd., pererab. i dop. M.: Mashinostroenie, 1984 – 352 p.
8. Dzh. Tu, Gonsales R. Princip raspoznanija obrazov. M.: Izd. “Mir”, 1978 – 414 p.
9. Gonsales R., Vuds R. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij. M.: Tehnosfera, 2005 – 1071 p.
10. Tehničeskoe opisanie i instrukcija po jekspluatácii bronetransportera BTR-60PB. Voenizdat. 1974. – 240 p.
11. Tehničeskoe opisanie i instrukcija po jekspluatácii bronetransportera BTR-70. Voenizdat. 1980. – 560 p.
12. Tehničeskoe opisanie i instrukcija po jekspluatácii bronetransportera BTR-80. Voenizdat, (chast' # 1). 1989. – 280 p.

13. Anipko O.B., Busjak Ju.M., Birjukov I.Ju., Cebrjuk I.V. Model' razvedki protivnika dlja povyshenija tehniceskix harakteristik sistemy upravlenija ognem tanka. Sistemi ozbroennja i vijs'kova tehnika. – Vyp. # 2. – H., 2012 – p. 107–110.

14. Anipko O.B., Busjak Ju.M., Birjukov I.Ju. Analiticheskaja markovskaja model' funkcionirovanija kompleksa vooruzhenija tanka. Sistemi ozbroennja i vijs'kova tehnika. – Vyp. # 3. – H., 2012 – p. 2 – 5.

15. Anipko O.B., Birjukov I.Ju. Fizicheskie principy razrabotki i sozdanija kompleksnoj optiko-akusticheskoy podsistemy obnaruzhenija nazemnyh celej ob'ektami bronetehniki. Integrirovanye tehnologii i jenergozberezenie. – Vyp. # 3. – H., 2012. – p. 48–54.

УДК 355.4; 623.40

Бірюков І.Ю.

МАСКУВАЛЬНЕ ФАРБУВАННЯ НАЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА МЕТОДИ ЇХ РОСПІЗНАВАННЯ

У статті розглядається маскувальне фарбування наземних нерухомих об'єктів та методи їх розпізнавання

Birukov I.Y.

MASKING OBJECT GROUND PAINTING AND METHODS OF THEIR RECOGNITION

The article deals with camouflage paint terrestrial fixed objects and methods of recognition

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ СИТЧАТО-КЛАПАННЫХ ТАРЕЛОК
ДЛЯ КОЛОН ОЧИСТКИ ЧЕТЫРЕХХЛОРИСТОГО ТИТАНА**

Введение. Современные колонные аппараты для процессов ректификации, дистилляции, применяемые в различных отраслях промышленности, должны обладать высокой разделительной способностью и производительностью, характеризоваться высокой надежностью и широким диапазоном устойчивой работы, обеспечивать низкие эксплуатационные расходы, иметь небольшую массу, обладать малым гидравлическим сопротивлением, быть конструктивно простыми и технологичными в изготовлении. Эти требования реализуются при конструировании колонного аппарата за счет применения различных типов контактных устройств.

Существует несколько способов очистки четыреххлористого титана [1]. Одним из таких способов является процесс ректификации.

Вследствие малой относительной летучести бинарной смеси $TiCl_4-VOCl_3$ (система близка к идеальной, коэффициент разделения 1,22 [2]) применение ректификации требует колонн с большим числом тарелок [3, 4]. В работах [4, 5] предложена схема полной очистки $TiCl_4$ с использованием только процесса ректификации. Разделительная установка в работе [4] представляет собой каскад из трех колонн с последовательно уменьшающимися диаметрами. Такая установка позволяет, по мнению авторов, полностью извлечь ванадий.

В работе [5] представляет собой каскад из четырех колонн, две колонны из которых работают в непрерывном режиме и две – в периодическом. Первая стадия предусматривает глубокую очистку технического тетрахлорида титана и предварительное концентрирование окситрихлорида ванадия. На второй стадии предполагается концентрирование ванадия с получением готового продукта. В результате был получен продукт, содержащий 99,0–99,9 % окситрихлорида ванадия.

Следовательно, схема, построенная на ректификационных методах, позволяет выполнить очистку тетрахлорида титана и концентрирование окситрихлорида ванадия. Однако, существующие контактные устройства для колонн ректификации мало эффективны и из-за высокого гидравлического сопротивления, применяемые колонные аппараты очень высоки.

Таким образом, применение данной схемы требует дальнейшего исследования и развития этого метода очистки.

Описание исследуемого образца. Широкое промышленное применение получила тарелка с прямо-точно-перекрестным взаимодействием фаз на тарелке [6]. Сочетание клапанов новой конструкции и ситчатых отверстий на рабочей площади тарелки позволяют создать устойчивый гидродинамический режим работы контактных устройств в широком диапазоне изменения нагрузок по контактирующим жидкой и паровой фазам. Это обеспечивает эффективную работу аппарата при существенном изменении расхода питания, что особенно актуально при отсутствии возможности производств работать при постоянной производительности. Широкий диапазон устойчивой работы обусловлен переменным сечением тарелки для прохода паров при изменении паровой нагрузки и небольшим изменением уровня жидкости по всей площади тарелки.

Контактная тарелка представлена на рисунке 1.

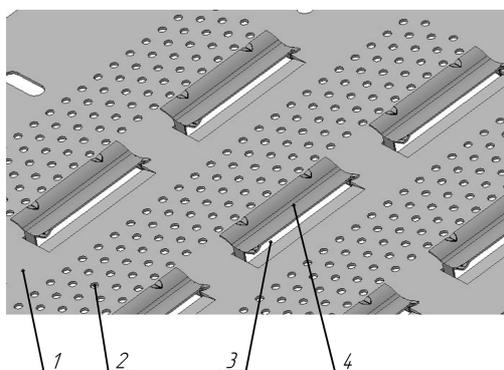


Рисунок 1 – Ситчато-клапанная тарелка:
1 – основание тарелки; 2 – отверстия сита; 3 – отверстия под клапан; 4 – клапан

Контактная тарелка работает следующим образом (рис. 2). Жидкость, поступающая из перелива, движется по основанию тарелки 1 в сторону сливной планки. Пар (газ) при небольшом количестве проходит в основном через отверстия сита 2 и контактирует с жидкостью. Клапана 4 при этом закрыты (рис. 2а) и пар (газ) проходит через них в незначительных количествах по направлению движения жидкости благодаря углублениям. Тарелка при этом работает как ситчатая. При увеличении количества пара (газа) клапана 4 начинают открываться в сторону движения жидкости (рис. 2б). Поток пара (газа) выходящий из-под клапанов 4 подталкивает жидкость в сторону сливной планки. При дальнейшем увеличении количества пара (газа) клапана 4 открываются полностью (рис. 2в).

Конструкция клапана 4 разработана таким образом, чтобы количество пара (газа) выходящая из-под клапанов 4 по направлению движения жидкости по основанию тарелки 1 всегда было больше, чем против движения.

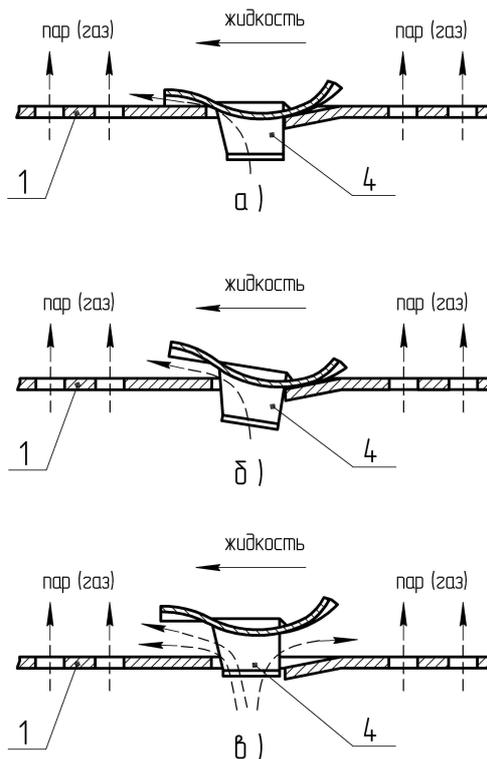


Рисунок 2 – Схема работы ситчато-клапанной тарелки:

а – клапан закрыт; б – начало открытия клапана; в – клапан открыт полностью;
1 – основание тарелки; 2 – отверстия сита; 3 – отверстия под клапан; 4 – клапан

Основная часть. Испытания проводили на стенде с прямоугольным коробом [7] на системе вода – воздух при нагрузке по жидкости от 1 до 40 м³/ч и скорости воздуха в сечении колонны 0,5–2,2 м/с.

Были испытаны тарелки пяти модификаций: ситчатая, клапанная и три контактных тарелки с различным соотношением сито-клапан. Конструктивные параметры, исследуемых образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики исследуемых образцов тарелок

	Свободное сечение тарелки, м ²	Число клапанов	Число отверстий	Относительное свободное сечение тарелки, %	Диаметр отверстия сита, мм
Ситчатая тарелка	0,0696		2464	11,60	5
Клапанная тарелка	0,0375	30		6,25	
Ситчато-клапанная тарелка, мод.1	0,1095	24	2816	18,26	5
Ситчато-клапанная тарелка, мод.2	0,0628	30	896	10,47	5
Ситчато-клапанная тарелка, мод.3	0,0502	30	448	8,36	5

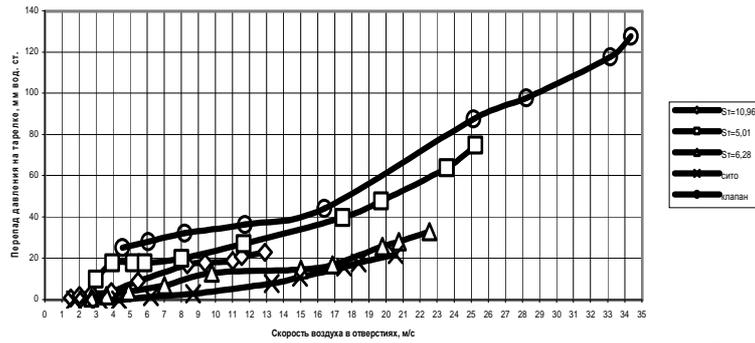


Рисунок 3 – Перепад давления на тарелках от скорости воздуха в отверстиях. Сухая тарелка

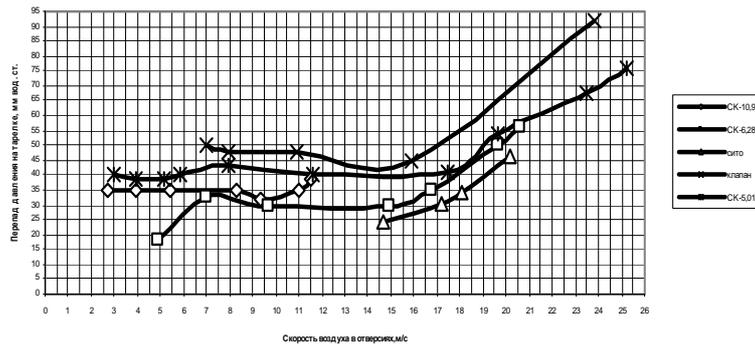


Рисунок 4 – Перепад давления на тарелках от скорости воздуха в отверстиях. Нагрузка по жидкости 2 куб. м в ч

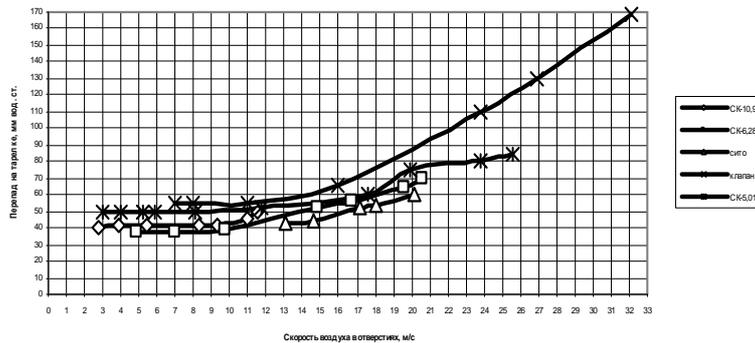


Рисунок 5 – Перепад давления на тарелках от скорости воздуха в отверстиях. Нагрузка по жидкости 10 куб. м в ч

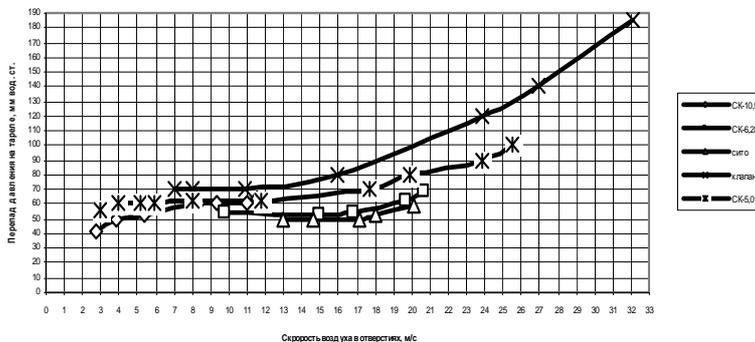


Рисунок 6 – Перепад давления на тарелках от скорости воздуха в отверстиях. Нагрузка по жидкости 20 куб. м в ч

Заключение. Величина гидравлического сопротивления контактных тарелок является одним из важнейших параметров, значение которого позволяет оценить энергетические затраты на проведение процесса разделения и определить возможность применения конкретной конструкции тарелок в колонных

аппаратах. Полученные опытные данные (рис. 3–7) свидетельствуют о том, что сопротивление ситчато-клапанных тарелок растет незначительно с увеличением паровой нагрузки в свободном сечении тарелки. Точка более резкого перегиба соответствует моменту полного открытия клапанов. При дальнейшем росте паровой нагрузки сопротивление тарелки увеличивается более интенсивно и зависимость стремится к квадратичной.

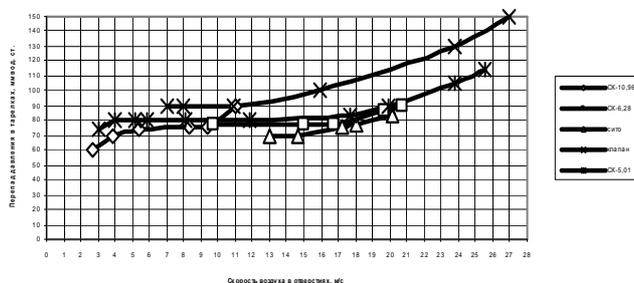


Рисунок 7 – Перепад давления на тарелках от скорости воздуха в отверстиях. Нагрузка по жидкости 40 куб. м в ч

Литература

1. Сивак В.В. Обзор современных методов очистки тетрахлорида титана / Сивак В.В., Ульев Л.М., Соколов М.В. // Вестник НТУ «ХПИ». – 2012. – № 10. – С. 9.
2. Нисельсон Л.А. Исследование фазового равновесия жидкость-пар в системах, образуемых $TiCl_4$, $VOCl_3$ / Нисельсон Л.А., Соколова Т.Д. // Журнал неорганической химии. – 1961. – № 7, т. 6. – С. 1645–1651.
3. Нисельсон Л.А. Гидравлические и массообменные характеристики промышленных ректификационных колонн для очистки тетрахлорида титана / Нисельсон Л.А., Попов В.Д., Якутов А.С., Чепрасов И.М., Кондратьев В.П. // Изв. АН СССР: Металлы. – 1967. – № 6. – С. 70–79.
4. Нисельсон Л.А. Об очистке тетрахлорида титана от ванадия ректификацией / Нисельсон Л.А., Якутов А.С., Логинов А.Б., Кондратьев В.П., Чепрасов И.М., Попов В.Д. // Изв. АН СССР: Металлы. – 1968. – № 4. – С. 69–79.
5. Титов А.А. Очистка четыреххлористого титана и концентрирование хлорокиси ванадия ректификацией / Титов Л.Л., Брыков В.П., Брыкова Л.В. // Химическая промышленность сегодня. – 2010. – № 6. – С. 38–43.
6. Пат. 37334 Украина, МПК В 01 D 3/14. Контактная тарелка для массообменных аппаратов / Сулима А.Н., Шепотько И.П., Данилов Д.Ю., Галактионов В.В.; заявитель и патентообладатель Сулима А.Н. – u200807616; заявл. 03.06.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22.
7. Соколов М.В. Разработка экспериментального оборудования для создания эффективных контактных устройств ректификационных колонн / Соколов М.В., Ульев Л.М., Сулима А.Н. // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2012. – № 3 – С. 55–59.

Bibliography (transliterated)

1. Sivak V.V. Obzor sovremennyh metodov ochistki tetrahlorida titana / Sivak V.V., Ul'ev L.M., Sokolov M.V. Vestnik NTU «HPI». – 2012. – # 10. – p. 9.
2. Nisel'son L.A. Issledovanie fazovogo ravnovesija zhidkost'-par v sistemah, obrazuemyh $TiCl_4$, $VOCl_3$ / Nisel'son L.A., Sokolova T.D. Zhurnal neorganicheskoy himii. – 1961. – # 7, t. 6. – p. 1645–1651.
3. Nisel'son L.A. Gidravlicheskie i massoobmennye harakteristiki promyshlennyh rektifikaci-onnyh kolonn dlja ochistki tetrahlorida titana / Nisel'son L.A., Popov V.D., Jakutov A.S., Cheprasov I.M., Kondrat'ev V.P. Izv. AN SSSR: Metally. – 1967. – # 6. – p. 70–79.
4. Nisel'son L.A. Ob ochistke tetrahlorida titana ot vanadija rektifikaciej / Nisel'son L.A., Jakutov A.S., Loginov A.B., Kondrat'ev V.P., Cheprasov I.M., Popov V.D. Izv. AN SSSR: Metally. – 1968. – # 4. – p. 69–79.
5. Titov A.A. Ochistka chetyrehhloristogo titana i koncentrirovanie hlorokisi vanadija rektifikaciej / Titov L.L., Brykov V.P., Brykova L.V. Himicheskaja promyshlennost' segodnja. – 2010. – # 6. – p. 38–43.

6. Pat. 37334 Ukraina, МПК В 01 D 3/14. Kontaktnaja tarelka dlja massoobmennyh apparatov Sulima A.N., Shepot'ko I.P., Danilov D.Ju., Galaktionov V.V.; zajavitel' i patentoobladatel' Sulima A.N. – u200807616; zavl. 03.06.2008; opubl. 25.11.2008, Bjul. # 22.

7. Sokolov M.V. Razrabotka jeksperimental'nogo oborudovanija dlja sozdanija jeffektivnyh kontakt-nyh ustrojstv rektifikacionnyh kolon Sokolov M.V., Ul'ev L.M., Sulima A.N. Integrovani tehnologii ta energozberezhenija. – 2012. – # 3 – p. 55–59.

УДК 66.048.3

Соколов М.В., Ульянов Л.М., Суліма А.М.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ СІТЧАТО-КЛАПАННИХ ТАРІЛОК
ДЛЯ КОЛОН ОЧИЩЕННЯ ЧОТИРИХЛОРИСТОГО ТИТАНА**

У статті розглянуто залежність перепаду тиску на досліджуваному контактному пристрої від швидкості пари у вільному перетині тарілки. Були досліджені сітчаста, клапана і тарілки з різним співвідношенням сита і клапанів.

Sokolov M.V., Ulyev L.M., Sulima A.N.

**INVESTIGATION OF SIEVE-VALVE TRAY HYDRODYNAMIC FOR REFINEMENT TITANIUM
TETRACHLORIDE**

The experimental investigation of pressure drop on contact device of sieve-valve tray was performed in this paper. The dependence pressure drop vs. steam velocity was received.

**ЭКСТРАКЦИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ПИНЧ-АНАЛИЗА ПРОИЗВОДСТВА КАРБАМИДА
НА АГРЕГАТЕ АК-70**

Введение. Удельное энергопотребление промышленностью Украины в 3–4 раза выше, чем в экономически развитых странах. Это свидетельствует о наличии значительного энергосберегающего потенциала на промышленных предприятиях, а также о возможности уменьшения техногенной нагрузки на окружающую среду [1].

Основные энергопотребляющие объекты промышленности страны – это предприятия, использующие химико-технологические методы производства и переработки продуктов. Даже в таких отраслях промышленности как сахарная и нефтеперерабатывающая, где изначально существовала рекуперация тепловой энергии, энергоаудит предприятий показывает значительный энергосберегающий потенциал [2].

Стратегия интеграции Украины в Европу ставит новые дополнительные задачи. Обследование большинства предприятий показало, что для того, чтобы удовлетворять европейским экологическим стандартам (ISO 14000 и др.), удельное энергопотребление в промышленности должно быть снижено, по крайней мере, в 2–3 раза.

Пути и методы такого снижения известны и в последние два десятилетия получили широкое распространение в западных странах. Прежде всего, это методы интеграции процессов. Опыт европейских заводов показывает, что при уменьшении энергопотребления на 30–40 % эмиссия выбросов в атмосферу уменьшается не менее, чем на 30 %. Наиболее современным и эффективным методом энергосбережения является системный метод, известный под наименованием пинч-анализа [3], который включает как методы энергоаудита, так и методы оптимального проектирования – пинч-проектирования.

Представленная работа посвящена энергетическому обследованию процесса производства гранулированного карбамида. Это делается с целью установления эффективности использования энергетических ресурсов и выработки экономически обоснованных мер по снижению затрат на энергосбережение.

Описание технологической схемы. Процесс гранулированного карбамида в агрегатах АК-70 (рис.1) состоит из следующих стадий производства:

1. Компримирование диоксида углерода.
2. Синтез и дистилляция плава карбамида.
3. Абсорбция газообразного аммиака из газов дистилляции и десорбции раствора углеаммонийных солей.
4. Упаривание раствора карбамида и гранулирование плава.

Компримирование диоксида углерода. Диоксид углерода из цеха поступает через скруббер (поз. 1) и влагоотделитель (поз. 2) в отделение компрессии, где в линию диоксида углерода непрерывно дозируется воздух. Диоксид углерода после грубой очистки от влаги во влагоотделителе поступает на всасывание пятиступенчатого компрессора, где после 1, 2, 3, 4 ступеней газ охлаждается в кожухотрубных горизонтальных холодильниках. После компрессоров диоксид углерода направляется в смеситель (агрегата 1, 3) и колонну синтеза № 2, 4.

Синтез и дистилляция карбамида. Жидкий аммиак из складов аммиака подается в буферный танк, сюда же поступает возвратный аммиак из узла конденсации аммиака. Из буферного танка жидкий аммиак проходит холодильники, а затем через подогреватель аммиака (поз. 13) поступает в смеситель или низ колонны синтеза.

Синтез карбамида. В смеситель (поз. 5) поступает диоксид углерода, жидкий аммиак и концентрированный водный раствор углеаммонийных солей. В смесителе происходит образование карбамата аммония. Плав из смесителя поступает в нижнюю часть колонны синтеза, где происходит окончательное образование карбамата аммония с последующим превращением его в карбамид.

Первая ступень дистилляции. После колонны синтеза (поз. 6) плав направляется в ректификационную колонну первой ступени (поз 7). Затем газожидкостная смесь поступает в сепаратор первой ступени (поз. 4). Газы после ректификационной колонны первой ступени направляются в рекуперативный теплообменник (поз. 32а), где отдают тепло встречному потоку плава.

Основная часть диоксида углерода из газовой фазы поглощается в выносном теплообменнике (поз. 9а), тепло абсорбции при этом отводится охлаждающей водой. Не абсорбированные аммиак и диоксид углерода поступают в промывную колонну (поз. 9), где осуществляется очистка газового потока от диоксида.

Орошение насадки производится аммиаком, сконденсировавшимся в первом по ходу конденсаторе (поз. 14). Раствор углеаммонийных солей из теплообменника – барботера (поз. 9а) подается в смеситель (поз. 5) или в низ колонны синтеза (поз. 6). Очищенная от диоксида углерода газообразная смесь аммиака, азота, кислорода и горючих направляется в конденсаторы аммиака (поз. 14). Смесь газов вместе с несконденсировавшимся аммиаком из конденсатора (поз. 14(3)) поступает в абсорбер (поз. 31), в верхнюю часть которого подается природный газ. Орошение абсорбера (поз. 31) производится соковым конденсатом или амводой.

Амвода из абсорбера поступает на орошение промывной колонны (поз. 9). Газ, содержащий в своем составе азот, метан, кислород, водород, а также часть не поглощенного аммиака, направляется для более тонкой очистки на абсорбер (поз. 312).

Вторая ступень дистилляции. Из сепаратора первой ступени (поз. 4) жидкая фаза (карбамид, карбамат аммония и воду) поступает в ректификационную колонну второй ступени (поз. 10). Жидкая фаза из ректификационной колонны поступает в подогреватель второй ступени, где происходит разложение карбамата аммония на аммиак и диоксид углерода и отгонка избыточного аммиака из раствора.

Из подогревателя парожидкостная смесь поступает в сепаратор второй ступени (поз. 21). Газовая фаза из сепаратора возвращается в нижнюю часть ректификационной колонны (поз. 10), где отдает тепло встречному потоку жидкости, а затем поступает в нижнюю часть межтрубного пространства конденсатора второй ступени (поз. 27). Из конденсатора раствор углеаммонийных солей поступает в емкость постоянного напора. Не поглощенный в конденсаторе (поз. 27) аммиак направляется в абсорбер (поз. 312). Аммиачные сдвухи после второй ступени дистилляции поступают в сепаратор. Жидкая фаза поступает в сборник углеаммонийных солей, а газовая фаза проходит последовательно испаритель и сепаратор.

Жидкая фаза-раствор карбамида из сепаратора второй ступени дистилляции (поз. 21) поступает в сепаратор (поз. 24а). Газы после разделения направляются на абсорбер (поз. 39), а жидкая фаза поступает в подогреватель (поз. 32). Нагрев раствора в подогревателе осуществляется паром вторичного вскипания из сборника конденсата высокого давления (поз. 52). Разделение смеси осуществляется в сепараторе (поз. 24), откуда жидкая фаза поступает в сборник. Инерты после эжектора форвыпарки направляются в абсорбер (поз. 39). Из сборников раствора карбамида (поз. 69), раствор перекачивается в отделение переработки для упаривания и получения гранулированного карбамида. Нагретый в подогревателе (поз. 33) раствор поступает в сепаратор. Газовая фаза поступает в конденсатор (поз. 35). Конденсат сокового пара сливается в сборники (поз. 50, 44).

Паровой конденсат после подогревателей (поз. 8, 20), установки глубокой очистки, отделения переработки поступает в сборник конденсата высокого давления (поз. 52), из него на обогрев подогревателя жидкого аммиака (поз. 13), на подогреватель форвыпарки (поз. 32) и в десорбер (поз. 104). После подогревателей (поз. 13, 32) паровой конденсат поступает в сборник низкого давления (поз. 52а). Для конденсации пара вверх установлен холодильник (поз. 87), охлаждаемый оборотной водой. Паровой конденсат из сборника (поз. 52а) через холодильник (поз. 98а) подается в емкость постоянного напора (поз. 99).

Абсорбция и десорбция. Аммиачные сдвухи из емкости (поз. 28), содержащие аммиак, поступают в абсорбер (поз. 312), который орошается соковым конденсатом, предварительно охлажденным в холодильнике (поз. 98). Туда же поступают аммиачные сдвухи с первой ступени дистилляции после абсорберов высокого давления (поз. 31).

На орошение абсорбера через холодильники (поз. 41) подается слабый раствор углеаммонийных солей. Раствор из абсорбера (поз. 39) снова стекает в сборник. Жидкая фаза – амвода после абсорбера (поз. 39а) направляется в сборник амвод. Из сборника (поз. 50) раствор через трубную часть подогревателя (поз. 51) подается в десорбер первой ступени (поз. 42), где проходит отгонка аммиака и диоксида углерода. Газовая фаза из десорбера первой ступени (поз. 42) поступает в конденсатор второй ступени (поз. 27), а жидкая через фильтр, через теплообменник (поз. 51) поступает в десорбер второй ступени (поз. 42), где происходит окончательная отгонка аммиака.

Соковый конденсат из отделения упаривания поступает в сборник (поз. 44(2)), откуда подается холодильник (поз. 92а(2)). Охлажденный соковый конденсат используется для орошения абсорберов (поз. 39а, поз. 312), на участке приготовления амвод. Соковый конденсат проходит последовательно теплообменник-рекуператор (поз. 318), где он подогревается встречным потоком раствора из гидролизеров (поз. 319), поступает в подогреватели, откуда подается в гидролизеры (поз. 319).

Из гидролизеров парожидкостная смесь через теплообменник (поз. 318) поступает в кубовую часть десорбера (поз. 42), где происходит отгонка аммиака и диоксида углерода из раствора. После разделения фаз жидкая фаза подается на орошение десорбера (поз. 104). Газовая фаза подается на отгонку аммиака и диоксида углерода в нижнюю часть десорбера (поз. 42). Жидкая фаза из десорбера охлаждается в холодильнике (поз. 92) и поступает в сборник сточных вод (поз. 95). Из сборника (поз. 95) предусмотрена подача сточной воды на технологические нужды.

Дренажные воды из аппаратов собираются в сборник (поз. 50), после чего подаются в систему десорбции, а промывные воды с отметок отделения синтеза и дистилляции и помещения насосной собираются в заглубленные сборники, откуда подаются в десорбер второй ступени (поз. 104) .

Установка улавливания аммиака из отходящих газов. Тонкая очистка отходящих газов стадии синтеза и дистилляции от примесей аммиака осуществляется путем промывки неконцентрированной азотной кислотой. Газовые выбросы после абсорберов (поз. 39а) поступают в нижнюю часть скруббера (поз. К-6). В верхнюю часть скруббера (поз. К-6) подается слабый циркулирующий раствор нитрата аммония. Очищенный газ после скруббера выбрасывается в атмосферу. Газовые выбросы после тарельчатого абсорбера поступают в нижнюю часть скруббера. Очищенный газ после скруббера проходит сепаратор и направляется по трубопроводу на теплообменник (поз. Т-18). После подогрева газа паром от теплообменника (поз. 325) газ по трубопроводу направляется на установку сжигания газов в корпус № 490 или выбрасывается в атмосферу (при остановке котельной).

Упаривание растворов и гранулирование карбамида (плава). Раствор из сборников (поз. 22, 69) направляется в напорный бак (поз. 120), предварительно пройдя фильтр для очистки от механических примесей. Из напорного бака (поз. 120), раствор карбамида самотеком поступает на агрегаты выпарки, а избыток раствора по линии перелива возвращается в сборники (поз. 22, 69).

Для уменьшения потерь карбамида при выпуске за счет гидролиза, испарения и образования биурета предусмотрена двухступенчатая выпарка карбамида. На первой ступени раствор карбамида из напорного бака (поз. 120) поступает в трубное пространство испарителя (поз. 121). Из испарителя нагретый раствор поступает в сепаратор (поз. 122). Газовая фаза поступает в конденсатор (поз. 123), охлаждается оборотной водой и конденсируется, а жидкая фаза направляется в испаритель (поз. 125) второй ступени выпарки. Нагретый раствор поступает в сепаратор (поз. 126). Жидкая фаза поступает на гранулирование. Газовая фаза проходит конденсатор (поз. 127) охлаждается оборотной водой и конденсируется. Соковый конденсат поступает в сборник (поз. 131).

Несконденсировавшиеся в конденсаторе (поз. 127) пары и газы промежуточным эжектором подаются в конденсатор (поз. 129), охлаждаются оборотной водой и конденсируются. Газовая фаза из конденсатора хвостовым паровым эжектором направляется в конденсатор (поз. 129а) , а затем на аппарат «Гайфун». Конденсат из конденсаторов (поз. 129, 129а) сливается в сборник (поз. 131).

Экстракция данных. Для того чтобы выполнить теплоэнергетическую интеграцию процесса необходимо провести пинч-диагностику системы. Во время проведения обследования установки были определены основные параметры технологических потоков, которые могут быть включены в теплоэнергетическую интеграцию процесса в основном режиме работы[6].

Характеристика основных технологических потоков приведена в следующем списке:

1. Жидкий аммиак из сборника поз.15 поступает в холодильник поз. 88, где охлаждается с 40°С до 35 °С
2. Смесь CO₂ и воздуха поступает в отделение компримирования (поз.3) и после 4 ступени сжатия охлаждается в холодильнике поз.
3. Газы первой ступени дистилляции (поз.7) поступают в рекуператор (поз. 32а), где конденсируются и отдают тепло встречному потоку плава.
4. Газы второй ступени дистилляции поступают в холодильник поз.27, где происходит их конденсация.
5. Газовая фаза из сепаратора поз.24 поступает в холодильник поз.29, где конденсируется и поступает в сборники 44 или 50.
6. Газовая фаза из сепаратора поз.34 поступает в холодильник поз.14, где конденсируется.
7. Газовая фаза из сепаратора поз.122 поступает в холодильник поз. 123, где конденсируется и поступает в сборник поз.131
8. Газовая фаза из сепаратора поз.126 поступает в холодильник поз. 127, где конденсируется.
9. Поток раствора карбамида из гидролизеров поступает в теплообменники-рекуператоры поз. 318, где нагревает встречный поток сокового конденсата.
10. Аммиачная вода из абсорбера поз. 312 направляется в холодильники 315 и далее поступает на орошение абсорбера поз. 31.
11. Водный раствор азотной кислоты охлаждается в теплообменнике поз. Т-9 и поступает в скруббер К-6.
12. Раствор из десорбера первой ступени поз.42 поступает в холодильник поз.51, где охлаждается и поступает в десорбер второй ступени поз.104.
13. Раствор из десорбера второй ступени поз.104 поступает в холодильник поз.92, где охлаждается и поступает в сборник поз.95.
14. Конденсат греющего пара после гидролизеров поз.319, подогревателей поз.8,20 поступает рекуператор поз. 13, где нагревает аммиак, идущий в колонну синтеза поз. 6.

15. Конденсат сокового пара из сборника поз.44-2 поступает на холодильник поз. 98, охлаждается и используется для орошения абсорберов поз. 312, 39а.

16. Аммиак из холодильника поз.88 поступает в рекуператор поз.13, нагревается и поступает в смеситель поз.5.

17. Раствор из дистиллятора первой ступени поступает в паровой подогреватель поз.8 и далее в сепаратор поз.4.

18. Раствор из дистиллятора второй ступени поступает в паровой подогреватель поз.20 и далее в сепаратор поз.21.

19. Жидкая фаза из сепаратора поз.21 поступает в сепаратор 24а, где происходит дальнейшее отделение газовой фазы. Жидкая фаза из сепаратора поз.24а поступает в паровой подогреватель поз.32а, нагревается и направляется в сепаратор поз.24

20. Из сборника поз.120 раствор карбамида поступает на первую ступень выпарки в испаритель поз. 121, где упаривается до массовой доли карбамида 92-96% и поступает в сепаратор поз.122.

21. Из сепаратора поз.122 жидкая фаза направляется в испаритель поз.125 второй ступени выпарки, где нагревается паром. Нагретый раствор поступает в сепаратор поз.126.

22. Конденсат сокового пара из сборника поз.44-2 поступает на рекуператоры поз.318, где нагревается за счет тепла охлаждаемого раствора из гидролизеров, далее поступает на паровые подогреватели поз.325 и после них подается на гидролизеры.

23. Раствор карбамида из сборника поз.50 подается в подогреватель 51, откуда направляется в десорбер первой ступени поз.42.

24. Из сборника поз.68 раствор карбамида подается в подогреватель поз.33, нагревается и поступает в сепаратор поз.34.

Систематизировав результаты изучения технологической схемы, регламента, составим таблицу поточковых данных, необходимых для определения тепловой мощности потребляемой процессом (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика технологических потоков процесса производства карбамида на агрегате №3

№	Наименование потока	Тип	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_r, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/ч}$	$G, \text{кг/с}$	$C, \text{кДж/}$ $(\text{кг}\cdot^\circ\text{град})$	$CP, \text{кВт/К}$	$\Delta H, \text{кВт}$
1	Аммиак на синтез-1 (до насоса)	гор	40	35	16765	4,66	5,00	23,28	116,42
2	CO ₂ после 4й ступ. комп.	гор	140	40	9487	2,64	0,87	2,29	229,27
3	Газы дист. 1 в 32а	Гор	122	113	21171	5,88	2,00	11,76	105,86
4	Газы в конд. 27	гор	90	35	3104	0,86	2,10	1,81	99,59
	конденсация		35	35			$\text{г (кДж/кг)}=$	1223,10	946,72
5	Газы из 24 в 39	гор	102	50	608	0,17	2,12	0,36	18,62
	конденсация		50	50			$\text{г (кДж/кг)}=$	1852,94	313,10
6	Газы в конд. 14	гор	55	27	14714	4,09	2,14	8,75	244,91
	конденсация		27	27			$\text{г (кДж/кг)}=$	1197,41	4894,12
7	Втор. пар из 122	гор	130	95	3992	1,11	1,88	2,08	72,96
	конденсация		95	95			$\text{г (кДж/кг)}=$	1981,32	2234,54
8	Втор. пар из 126	гор	138	95	903	0,25	1,77	0,44	19,09
	конденсация		95	95			$\text{г (кДж/кг)}=$	1758,34	441,22
9	Парожид. из гидрол.	гор	155	80	38000	10,56	1,90	20,06	1504,17
	конденсация		80	80			$\text{г (кДж/кг)}=$	2013,00	2475,83
10	Ам. вода из 312 в 31	гор	40	30	1382	0,38	4,13	1,59	15,85
11	Раствор азотн. кисл. в К-6	гор	50	35	288	0,08	3,18	0,25	3,82
12	Раствор в 104	гор	133	115	12863	3,57	4,34	15,51	279,12
13	Раствор из 104 в 95	гор	105	60	12863	3,57	4,19	14,97	673,67
14	Конд. В 13	гор	182	40		0,00	4,19	10,17	1443,65
15	Конд. Соков. Пара в 312	гор	45	35	1047	0,29	4,19	1,22	12,19
16	Аммиак на синтез-2	хол	28	90	16765	4,66	5,00	23,28	1443,65
17	Жид. фаза из дист. 1 в 8	хол	134	148	21182	5,88	2,46	14,47	202,64
18	Жид. фаза из дист. 2 в 20	хол	110	133	21000	5,83	2,22	12,95	297,85
19	Жид. фаза из 21 в 24	хол	94	102	18398	5,11	2,56	13,08	104,66
20	Жид. фаза из 120 в 122	хол	95	130	16234	4,51	2,17	9,79	342,49
21	Раствор карб. в 126	хол	130	138	12242	3,40	1,55	5,27	42,17
22	Сок. конд. в 318	хол	40	190	38000	10,56	4,19	44,23	6634,17
23	Раствор из 50 в 42	хол	70	135	11317	3,14	2,22	6,98	453,60
24	Раств. Карб. из 68 в 34	хол	95	115	4000	1,11	1,60	1,78	35,56

В целом, в распоряжении есть 15 горячих технологических потоков и 9 холодных технологических потоков с определенными потоковыми данными.

Анализ существующей теплообменной системы. Используя полученные данные технологических потоковых данных построим популяцию горячих и холодных потоков на сеточную диаграмму существующего процесса (рис. 2).

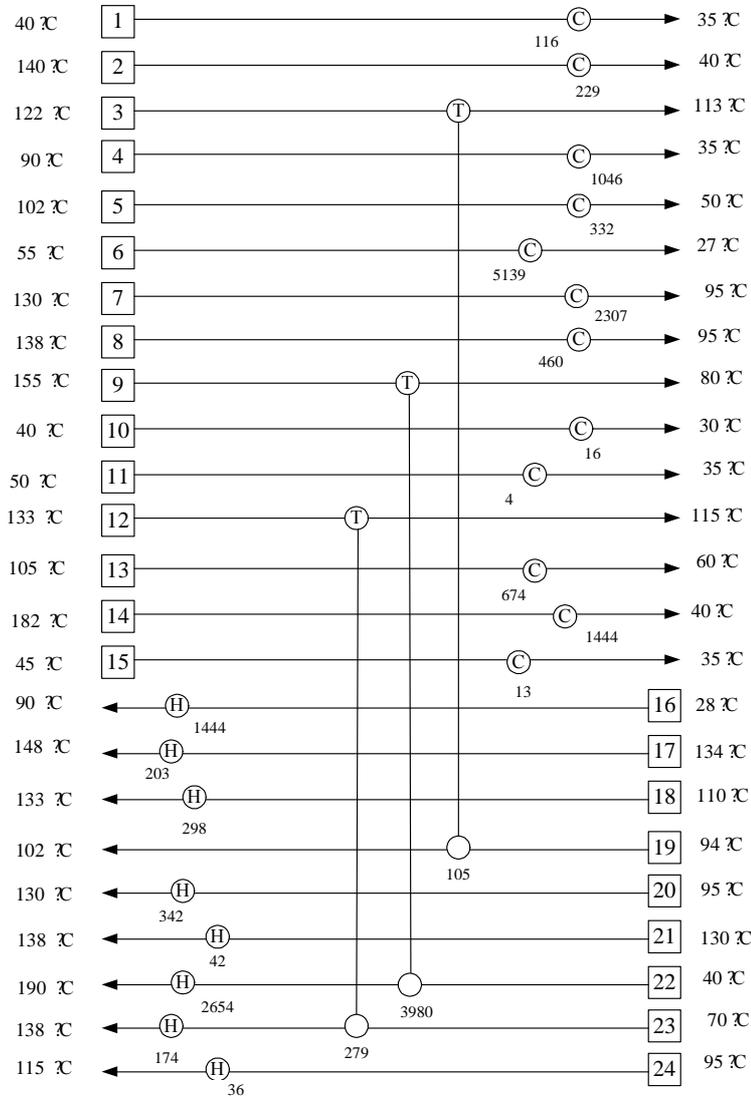


Рисунок 2 – Сеточная диаграмма существующего в настоящее время теплоэнергетической системы на агрегате производства карбамида

По измеренным температурам технологических потоков и их потоковыми теплоемкостями определяем мощность каждого из рекуперативных теплообменников.

На сеточной диаграмме были построены теплообменные связи между технологическими потоками, а также была определена мощность рекуперации, которая составила 4364 кВт [4].

Выводы и перспективы дальнейшего развития данного направления. Исследовав процесс производства гранулированного карбамида на агрегатах АК-70 были получены необходимые потоковые данные, систематизированы и внесены в таблицу. С помощью сеточной диаграммы были рассчитана мощность существующей рекуперации тепловой энергии. Результаты данной работы можно использовать для анализа энергосберегающего потенциала и реконструкции существующего процесса.

Благодарность: Авторы благодарят Европейское Сообщество за финансовую поддержку в рамках проекта ЕС (Efficient Energy Integrated Solutions for Manufacturing Industries – EFENIS, Grant Agreement No. ENER/FP7/296003/EFENIS).

Литература

1. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л. Теплоэнергетическая интеграция химико-технологических процессов – инструмент энергосбережения и уменьшение вредных выбросов / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Л.М. УЛЬЕВ // Матеріали III Українського екологічного конгресу – К: Центр екологічної освіти та інформації, 2009, с. 193–197.
2. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л. Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, В.П. МЕШАЛКИН – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 415 с.
3. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, Л.М. УЛЬЕВ – Харьков: ХГПУ, 2000. – 457 с.
4. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л. Построение составных кривых технологических процессов для определения энергетической эффективности предприятия / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, Л.М. УЛЬЕВ, Б.Д. ЗУЛИН, Н.Д. АНДРИЙЧУК // Материалы междунаучно-техн. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье», microCAD'96. Ч.1. Харьков, 1996. – с. 179.

Bibliography (transliterated)

1. Tovazhnjanskij L.L. Teplojenergeticheskaja integracija himiko-tehnologicheskikh processov – instrument jenergosberezenija i umen'shenie vrednyh vybrosov L.L. Tovazhnjanskij, L.M. Ul'ev Materiali III Ukraïns'kogo ekologičnogo kongresu – K: Centr ekologičnoï osviti ta informacii, 2009, p. 193–197.
2. Tovazhnjanskij L.L. Osnovy teorii resursosberegajushhijh integrirovannyh himiko-tehnologicheskikh sistem L.L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, V.P. Meshalkin – Har'kov: NTU «HPI», 2006. – 415 p.
3. Smit R. Osnovy integracii teplovyh processov R. Smit, J. Klemesh, L.L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, L.M. Ul'ev – Har'kov: HGPU, 2000. – 457 p.
4. Tovazhnjanskij L.L. Postroenie sostavnyh krivyh tehnologicheskikh processov dlja opredelenija jenergetičeskoj jeffektivnosti predprijatija L.L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, L.M. Ul'ev, B.D. Zulin, N.D. Andrijchuk Materialy mezhd.nauchno-tehn.konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e», microCAD'96. Ch.1. Har'kov, 1996. – p. 179.

УДК 612.461.2

УЛЬЕВ Л.М., ЯЦЕНКО О.О

ЕКСТРАКЦІЯ ДАНИХ ДЛЯ ПІНЧ АНАЛІЗУ ВИРОБНИЦТВА КАРБАМІДУ НА АГРЕГАТАХ АК-70

Мета даного проекту полягає в дослідженні процесу виробництва гранульованого карбаміду на агрегаті АК-70. Визначенні всі технологічні потоки, які необхідні для інтеграції процесу з допомогою методу пінч-аналізу. За допомогою сіткової діаграми було розраховано існуючу рекуперацію теплової енергії. Результати даної роботи можна використовувати для аналізу енергозберігаючого потенціалу та реконструкції існуючого процесу.

Ulyev L.M., Yatsenko O.A.

DATA EXTRACTION FOR PINCH ANALYSIS UREA PRODUCTION ON THE UNIT AK-70

The goal of this project is investigated a process of production of granular urea on the unit AK-70. Definition all the technological flows that are required for integration process by using the method of pinch analysis. Using grid diagram was calculated existing thermal energy recuperation. The results of this work can be used for analysis of energy saving potential and reconstruction of the existing process.

УДК 623.522

Анипко О.Б., Муленко А.О., Баулин Д.С.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА СТВОЛА 5,45 мм АВТОМАТА КАЛАШНИКОВА АК-74 ПРИ СТРЕЛЬБЕ БОЕПРИПАСАМИ ДЛИТЕЛЬНЫХ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ

Эффективность и безопасность боевого применения оружия существенно зависит от степени износа стволов и качества используемых боеприпасов [1, 2]. Поэтому проблема установления закономерностей влияния состояния используемого боеприпаса на живучесть стволов ствольных систем представляется актуальной.

Стрелковое оружие является массовым, поскольку им вооружены военнослужащие всех родов и видов вооруженных сил. При этом ресурсные показатели ствола в сочетании с допустимыми характеристиками патрона определяют затраты на нанесение ущерба при выполнении огневых задач. Поскольку ствол по отношению к боеприпасам является более дорогостоящим элементом в системе “оружие – боеприпас”, то снижение его ресурса из-за ухудшения качества патронов, в том числе, вызванного геронтологическими изменениями, могут существенно увеличить затраты на решение типовых огневых задач. Иными словами речь идет о целесообразности использования боеприпасов длительных сроков хранения по отношению к повышающейся при этом интенсивности износа ствола.

Из всего многообразия причин, из-за которых происходит снижение живучести стволов и автоматики рассмотрен механизм влияния использования боеприпасов послегарантийных сроков хранения.

Качество внутренней поверхности канала ствола ствольной системы от выстрела к выстрелу изменяется и, в конце концов, достигает такого состояния, которое не обеспечивает необходимых баллистических характеристик при выстреле. Наиболее существенное исчерпание ресурса ствола происходит при стрельбе длинными очередями. В свою очередь свойства используемых боеприпасов, при продолжительном их хранении, определяются геронтологическими изменениями в порохах [3–6].

Результаты исследований, независимо проведенных в разных странах, свидетельствуют о том, что внутрибаллистические характеристики выстрела боеприпаса с календарным сроком хранения 18–22 года, отличаются существенно более высокими максимальными давлениями пороховых газов и скоростью горения пороха, что в совокупном действии существенно влияет на износ ствола и безопасность боевого применения оружия. При этом начальная скорость пули (V_0) снижается [7, 8].

На современном этапе, методики определения состояния ствола, которые используются в войсках, основываются на контроле параметров, соответствующих внутренней баллистике “свежего” боеприпаса, то есть с календарным сроком хранения не превышает его гарантийный срок 10 лет. В связи с этим актуальными для боевого применения ствольных систем представляются следующие задачи:

- определение живучести ствола при использовании боеприпасов послегарантийных сроков хранения (ПСХ);
- разработка рекомендаций по коррекции методического аппарата контроля состояния ствола;
- разработка методического аппарата, который определяет возможность введения поправок на изменение начальной скорости, обусловленной старением боеприпасов.

Технический ресурс стволов стрелкового оружия (количество выстрелов) определяется и закладывается в технические характеристики образца на этапе его разработки и проектирования. Для основных образцов эти показатели приведены в “Инструкции по категорированию ракетно-артиллерийского вооружения” [9].

Однако, следует отметить, что значения справедливы при:

- режим стрельбы – средний, без явного перегрева ствола;
- боеприпасы гарантийных сроков хранения (параметры внутренней баллистики – табличные).

Как было установлено ранее проведенными исследованиями [3–7, 10], при применении боеприпасов послегарантийных сроков хранения, увеличивается максимальное давление в канале ствола, а его максимум смещается в сторону патронника, увеличивается скорость горения пороха, а сила пороха уменьшается.

Учитывая данные изменения допустимо предположить, что и технический ресурс ствола изменится в связи с изменением параметров внутрибаллистического процесса.

Контроль состояния стволов стрелкового оружия осуществляется, в том числе, путем измерения начальной скорости пули, которая, в свою очередь, также изменяется при использовании боеприпасов послегарантийных сроков хранения [6, 7, 11, 12].

Таблиця 1 – Технический ресурс стволов стрелкового оружия

Вид оружия	Количество выстрелов
9 мм ПМ	4000
9 мм АПС	8000
5,45 мм ПСМ	3000
7,62 мм СВД	6000
7,62 мм АКМ и его модификации	10000
5,45 мм АК74 и его модификации	10000
7,62 мм ПКМ и его модификации	25000
7,62 мм РПК и его модификации	20000
5,45 мм РПК74 и его модификации	20000
12,7 мм НСВ	10000
14,5 мм КПВТ	12000

Для выявления значений и характера этих изменений были проведены экспериментальные исследования по определению начальной скорости пули 5,45 мм автомата Калашникова АК-74.

В эксперименте использовались четыре новых автомата Калашникова АК-74 (№№ 6730784-89, 6742108-90, 6775591-90, 6776590-90), которые произведены на федеральном государственном унитарном предприятии “Ижевский механический завод”, Россия. Используемые боеприпасы – 5,45 мм патроны с обыкновенной пулей 1979-го, 1982-го и 1986-го годов изготовления, что соответствует 33, 30 и 26 годам хранения соответственно. Режим стрельбы определялся учебными задачами, решаемыми курсантами мотострелковых подразделений – равномерный, короткими очередями без перегрева стволов.

Измерения начальных скоростей пуль проводилось на этапах настрела стволов – 0, 5000, 7500 и 10000 выстрелов. На каждом этапе проведено по 30 измерений начальной скорости пули каждого автомата. При определении начальной скорости пули использовались “нормальные” боеприпасы со сроком хранения 10 лет, с целью исключения влияния на начальную скорость геронтологических изменений порохового заряда.

При проведении экспериментальных стрельб по измерению начальных скоростей пуль, оружие и измерительное оборудование было размещено исходя из требований обеспечения выполнения мер безопасности при обращении с оружием (рис. 1).

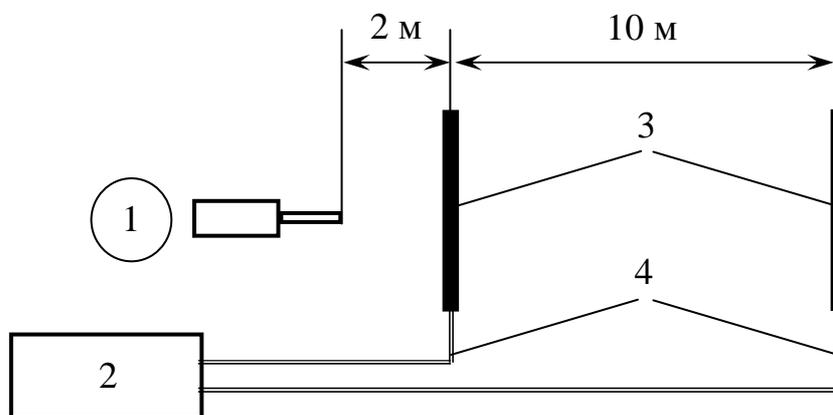


Рисунок 1 – Схема эксперимента

1 – оружие, 2 – хронометр, 3 – блокирующие устройства, 4 – соединительные провода

Влияние нагрева ствола на изменение начальной скорости пули при проведении эксперимента не учитывалось. В описываемом эксперименте, стрельба проводилась одиночными выстрелами с интервалом в 2 минуты.

Для определения промежутка времени, за который пуля преодолевает отрезок пути между блокирующими устройствами, был использован электронный хронометр “Нептун” (рис. 2), предназначенный для измерения промежутков времени от 10^{-6} с до 1000 с при температуре окружающей среды от +1 °С до +40 °С [13].



Рисунок 2 – Электронный хронометр “Нептун”

Полученные результаты обобщены в виде зависимостей изменения начальных скоростей пуль от ресурса стволов в выстрелах (n), которые представлены в табл. 2 и на рис. 3, и описываются следующими выражениями:

– для “нормальных” боеприпасов

$$V_0^{\text{норм}} = 900 - 5 \cdot 10^{-3} n ; \quad (1)$$

– для автоматов (№№ 6730784-89, 6775591-90, 6776590-90)

$$V_0 = 900 + 12n - 5n^2 ; \quad (2)$$

– для автомата (№ 6742108-90)

$$V_0 = 900 + 21,85n - 7,75n^2 . \quad (3)$$

Таблица 2 – Средние значения начальных скоростей пуль, полученные в результате четырех этапов эксперимента

Количество выстрелов, (n)	Начальная скорость пули (V_0), м/с			
	6730784	6742108	6775591	6776590
0	900,1	900,1	899,5	899,6
5000	895,0	894,6	895,0	894,8
7500	885,1	884,8	884,9	884,8
10000	860,0	847,1	859,7	859,8

Анализ результатов предыдущих исследований и данные эксперимента позволяют сделать следующие выводы:

- линия 1 – нормальные боеприпасы с гарантийными сроками эксплуатации;
- линии 2, 3, 4 соответствуют изменениям начальных скоростей пуль трех автоматов;
- линия 5 – четвертый автомат, показавший большую интенсивность изменения начальной скорости пули.

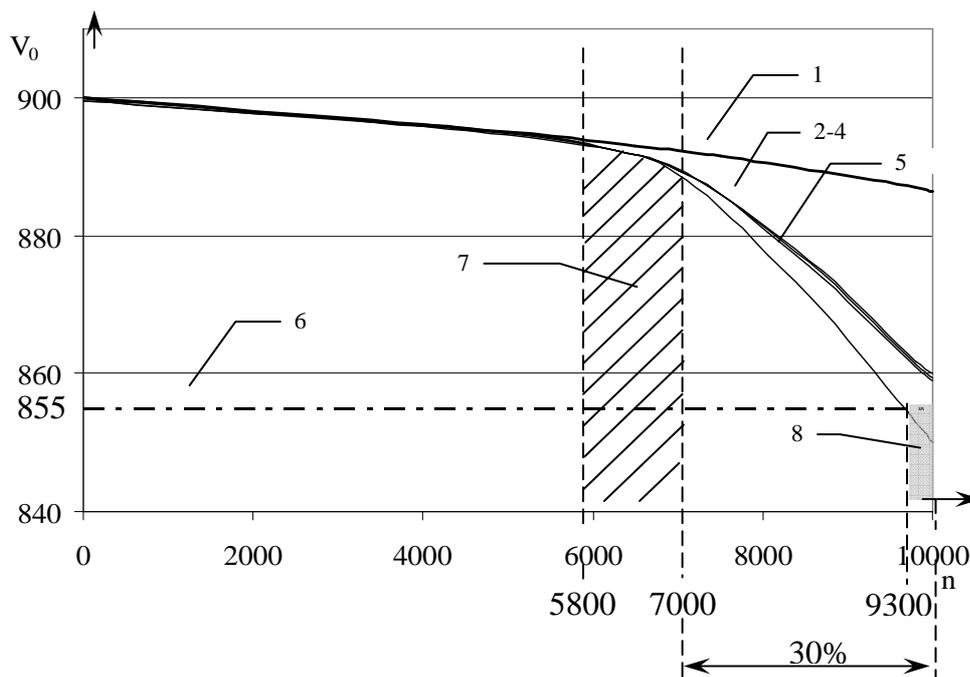


Рисунок 3 – Изменение средних значений начальных скоростей пуль в зависимости от ресурса стволов. 1 – график изменения V_0 при применении нормальных боеприпасов; 2–4 – график изменения V_0 автоматов (№№ 6730784-89, 6775591-90, 6776590-90); 5 – график изменения V_0 автомата (№ 6742108-90); 6 – линия максимально допустимой величины падения V_0 для используемых автоматов; 7 – область начала более интенсивного изменения V_0 ; 8 – трудно-прогнозируемый интервал износа ствола

Пунктиром отмечена линия, которая определяет снижение начальной скорости пули на 5 % от табличного значения – 855 м/с. Согласно [9], одной из причин выбраковки ствола является снижение начальной скорости ниже этой величины.

Из данных табл. 2 и рис. 3 видно, что изменения V_0 всех четырех автоматов практически совпадают до точки, равной ~ 7000 выстрелов. Эта часть графика отличается от нормальной эксплуатации ствола с нормальными боеприпасами на величину не превышающую 0,4 %.

При применении боеприпасов длительных сроков хранения, наилучшим результатом являются линии 2, 3, 4 – три автомата, значения начальных скоростей пуль которых фактически на 10000 выстрелов приходят к 5% снижению. Один образец пересекает линию браковки ствола “недорабатываемая” ~ 8 % ресурса.

Характерной точкой на графике является координата 7000 выстрелов. Учитывая дискретный характер контроля начальной скорости V_0 при проведении эксперимента, можно предположить, что начало более интенсивного изменения V_0 лежит в диапазоне ~ 5800–7000 выстрелов. Точка в 7000 выстрелов – это 70 % ресурса, то есть на остаточном ресурсе ствола в 30 % начинаются более существенные отклонения V_0 и интенсивность истощения ресурса ствола возрастает. При этом можно предположить, что при более интенсивном режиме ведения огня координата точки начала интенсивного падения начальной скорости будет смещаться к 5000 выстрелов.

В результате визуального контроля и с помощью калибров установлено:

- разгар газовой трубки;
- задержки при стрельбе и утыкания патрона после 6500 выстрелов.

При нормативе, что на 1000 выстрелов одного автомата допускается 1 задержка, связанная с работой автоматики, начало резкого повышения интенсивности задержек при стрельбе и проявление неисправностей лежит именно в диапазоне перегиба – 5800–7000 выстрелов.

В эксперименте результат начала повышения интенсивности износа ствола в 70 % получили на конкретной выборке, причем экспериментальную группу автоматов можно разделить по годам производства следующим образом (рис. 3):

Один автомат 1989-го года и два автомата 1990-го года показали большую стойкость стволов к влиянию внутрибаллистических факторов, вызванных геронтологическими изменениями в пороховом заряде, а один автомат 1990-го года, соответствующий той же технологии производства, что и остальные, показал повышенную интенсивность износа ствола. Можно ожидать, что 25 % образцов будут показывать

такі результати. Причому ця картина характерна тим, що після 9300 вистрелів (93 % ресурса) починається трудно-прогнозуваний інтервал износа, який характеризується некоректуємою стрільбою. Якщо показання V_0 трьох автоматів лежать в діапазоні 5-процентного зниження і можна з допомогою пристрелки і введення поправок говорити про можливої дальнійшій експлуатації даних образців, то з четвертим образцем при допомозі корекції затrudнително добитися позитивних результатів при стрільбі.



Рисунок 3 – Група автоматів по роках виробництва

Основним результатом експериментальних досліджень слід вважати виявлену закономірність зміни початкової швидкості кулі, пов'язану з расстрелом ствола і його износом, а також елементів автоматики і газового тракту, що викликане використанням боєприпасів довготривалих термінів зберігання і факторів внутрішньої балістики, які впливають на це.

Таким чином, проблема забезпечення необхідного ресурсу стволів і система забезпечення якості боєприпасів при експлуатації ствольних систем може бути вирішена на основі отриманих закономірностей (1), (2), (3) износа ствола від кількості вистрелів.

Література

1. STANAG 4512 Infantry Weapons Standardization — «Стандартизація піхотного озброєння». Електронний інтернет ресурс <http://nsa.nato.int/nsa/nsdd/listpromulg.html>.
2. STANAG 4569 «Методи оцінки рівней захисти боєвих бронированих машин легкої категорії при поразенні боєприпасами кінетического дієвства і осколками осколочно-фугасних снарядів польової артилерії». Електронний інтернет ресурс <http://nsa.nato.int/nsa/nsdd/listpromulg.html>.
3. Горст А.Г. Пороха і взривчаті речовини / А.Г. Горст. – М.: Машиностроєння, 1972. – 208 с.
4. Взривчаті речовини і пороха [Будников М.А., Левкович Н.А., Быстров И.В. і др.] – М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1955. – 364 с.
5. Рекомендації щодо аналізу стану та бойового і навчально-бойового використання боєприпасів, строк експлуатації яких закінчився (більш 15 років) до стрілецької зброї та артилерійського озброєння [Текст] : звіт про НДР / Акад. внутрішніх військ МВС України; керівн. О.Б. Аніпко; викон. : Д.С. Баулін [та ін.]. – Х., 2007. – 91 с.
6. Особливості характеристик внутрішньої балістики порохових зарядів боєприпасів, які знаходяться за межами гарантійних строків зберігання : навчально-методичний посібник [для вищ. навч. закл.] / О.Б. Аніпко, І.Ю. Бірюков, Д.С. Баулін, В.І. Воробйов. – Х.: Акад. внутрішніх військ МВС України. 2008. – 40 с.
7. Аніпко О.Б. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения [Текст] / О.Б. Аніпко, Ю.М. Бусяк. – Х.: Акад. внутрішніх військ МВС України. – 2010. – 129 с.
8. Аніпко О.Б. Живучість гладких і нарезних стволів при використанні боєприпасів післягарантійних строків зберігання [Текст] / О.Б. Аніпко, Ю.М. Бусяк, П.Д. Гончаренко, В.Л. Хайков. – Севастополь: Акад. ВМС ім. П.С. Нахімова. – 2012. – 208 с.
9. Инструкция по категорированию ракетно-артиллерийского вооружения, введенная в действие приказом № 502 от 13.09.1985 г. командира войсковой части 64176 – М.: Военное издательство, 1986. – 61 с.
10. Шагов Ю.В. Взривчаті речовини і пороха / Ю.В. Шагов. – М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1976. – 120 с.
11. Чуев Ю.В. Проектирование ствольных комплексов / Ю.В. Чуев. – М.: Машиностроєння, 1976. – 216 с.
12. Орлов Б. В. Устройство и проектирование стволів артиллерийских орудий / Б.В. Орлов, Э.К. Ларман, В.Г. Маликов. – М.: Машиностроєння, 1976. – 431 с.
13. Электронный хронометр «Нептун»: техническое описание. – 1975. – 51 с.

Bibliography (transliterated)

1. STANAG 4512 Infantry Weapons Standardization — «Standartizacija pehotnogo oruzhija». Jelektronnyj internet resurs <http://nsa.nato.int/nsa/nsdd/listpromulg.html>.
2. STANAG 4569 «Metody ocenki urovnej zashhity boevykh bronirovannykh mashin legkoj kategorii pri porazhenii boepripasami kineticheskogo dejstvija i oskolkami oskolochno-fugasnykh snarjadov pole-voj artillerii». Jelektronnyj internet resurs <http://nsa.nato.int/nsa/nsdd/listpromulg.html>.
3. Gorst A.G. Poroha i vzryvchatye veshhestva A.G. Gorst. – M.: Mashinostroenie, 1972. – 208 p.
4. Vzryvchatye veshhestva i poroha [Budnikov M.A., Levkovich N.A., Bystrov I.V. i dr.] – M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo oboronnoj promyshlennosti, 1955. – 364 p.
5. Rekomendacii shhodo analizu stanu ta bojovogo i navchal'no-bojovogo vikoristannja boepripasiv, strok ekspluatacii jakih zakinchivsja (bil'sh 15 rokov) do strilec'koï zbroï ta artilerijs'kogo ozbroennja [Tekst] : zvit pro NDR Akad. vnutrishnih vijs'k MVS Ukraïni; kerivn. O.B. Anipko; vikon. : D.S. Baulin [ta in.]. – H., 2007. – 91 p.
6. Osoblivosti harakteristik vnutrishn'oï balistiki porohovih zarjadiv boepripasiv, jaki znahodjat'sja za mezhami garantijnih strokiv zberigannja : navchal'no-metodichnij posibnik [dlja vishh. navch. zakl.] O.B. Anipko, I.Ju. Birjukov, D.S. Baulin, V.I. Vorobjov. – H.: Akad. vnutrishnih vijs'k MVS Ukraïni. 2008. – 40 p.
7. Anipko O.B. Vnutrennjaja ballistika stvol'nyh sistem pri primenenii boepripasov dlitel'nyh strokov hranenija [Tekst] O.B. Anipko, Ju.M. Busjak. – H.: Akad. vnutrishnih vijs'k MVS Ukraïni. – 2010. – 129 p.
8. Anipko O.B. Zhivuchest' gladkih i nareznyh stvolov pri primenenii boepripasov poslegarantijnyh strokov hranenija [Tekst] O.B. Anipko, Ju.M. Busjak, P.D. Goncharenko, V.L. Hajkov. – Sevastopol': Akad. VMS im. P.S. Nahimova. – 2012. – 208 p.
9. Instrukcija po kategorirovaniju raketno-artillerijskogo vooruzhenija, vvedennaja v dejstvie pri-kazom # 502 ot 13.09.1985 g. komandira vojskovoï chasti 64176 – M.: Voennoe izdatel'stvo, 1986. – 61 s.
10. Shagov Ju.V. Vzryvchatye veshhestva i poroha Ju.V. Shagov. – M.: Voennoe izdatel'stvo Ministerstva Oborony SSSR, 1976. – 120 p.
11. Chuev Ju.V. Proektirovanie stvol'nyh kompleksov Ju.V. Chuev. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 216 p.
12. Orlov B. V. Ustrojstvo i proektirovanie stvolov artilerijskikh orudij B.V. Orlov, Je.K. Larman, V.G. Malikov. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 431 p.
13. Jelektronnyj hronometr "Neptun": tehničeskoe opisanie. – 1975. – 51 p.

Краснокутский Е.В., Ведь В.Е., Пономаренко А.В., Коций В.А.

СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАТАЛИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Введение. Ужесточение требований, предъявляемых к уровню газовых выбросов промышленных теплоэнергетических устройств и транспортных средств в настоящее время, определяет необходимость создания современных методов и средств нейтрализации газов [1–3]. Современное аппаратное оформление определения кинетических и газодинамических параметров каталитических процессов очистки газов является основным инструментом, определяющим совершенство таких методов и средств.

При разработках новых установок для проведения кинетических и газодинамических исследований следует стремиться к реализации наиболее полной возможности получения информации о проведении каталитических процессов конверсии для последующего составления математических моделей протекания процессов в реакторах с различной структурой потока с перспективой проектирования на этой основе новых совершенных промышленных конструкций преобразователей газовых выбросов [4].

Теорией химических реакторов определено, что для проведения гетерогенно-каталитических кинетических исследований используют три метода: интегральный, дифференциальный и проточно-циркуляционный [5, 6]. Каждому из методов соответствуют известные типы реакторов, которым присущи определенные преимущества и недостатки.

Установки для проведения гетерогенных каталитических исследований кинетики конверсии газов должны давать возможность варьировать размер частиц катализатора и их количество, применять различные по агрегатному состоянию и составу обезвреживаемые вещества, контролировать температурный режим процесса конверсии и определять его гидродинамические характеристики. Это определяет необходимость разработки не только рациональной схемы исследовательского стенда, но и конструкции реактора, в котором протекают каталитические, тепловые и гидромеханические процессы.

Необходимые параметры функционирования стенда

Современные нейтрализаторы вредных газовых выбросов должны обеспечивать высокую степень очистки при минимальном и известном гидродинамическом сопротивлении газового тракта конструкции и слоя катализатора, а так же отличаться минимальной потребительской стоимостью.

В комплекс параметров, которые подлежат исследованию, необходимо включать: оптимальное количество каталитически активных центров в объеме нейтрализатора и экономическую целесообразность производства, как носителей катализаторов, так и катализаторов. Для выполнения этих требований к нейтрализаторам испытательные установки должны определять следующие параметры свойств катализаторов и носителей: скорость и полноту реакции, температурные диапазоны функционирования катализаторов, кинетические закономерности химического превращения вредных газовых выбросов, газодинамические характеристики носителей катализаторов, являющиеся функцией последовательности чередования элементов упаковки носителей в объеме нейтрализаторов (тип материала носителя, структура элемента его упаковки, взаимное расположение элементов упаковки).

Наиболее актуальными проблемами, которые необходимо решить для Украины в области экологии, являются обеспечение современных создаваемых комплексов для переработки твердых промышленных и бытовых отходов высокую степень защиты от вредных газовых выбросов мусороперерабатывающих комплексов [3], двигателей внутреннего сгорания [7], выбросов различных теплоэнергетических устройств, например, коксохимических предприятий и предприятий металлургической промышленности [1].

Анализ работы различных теплоэнергетических установок показывает, что в выпускных газовых трактах соблюдаются приблизительно следующие параметры функционирования:

- температура 100–1000 °С;
- условная скорость подачи изучаемых газов – 5000–12000 ч⁻¹.

Это определяет основные эксплуатационные характеристики создаваемых испытательных стендов, которые также должны обеспечивать:

- возможность проведения анализов как газообразных (метан, пропан, монооксид углерода) и жидких (спирты, эфиры, бензол, хлорбензол) так и твердых веществ (фенол и нафталин);
- проведение комплексного анализа сложных углеводородных паровоздушных смесей в изотермических и адиабатических режимах;
- регистрацию газодинамических параметров протекания гетерогенно-каталитических реакций;

- регулируемые продольные и радиальные градиенты температур, а так же регистрацию таковых, возникающих при протекании экзотермических реакций;
- определение градиентов температур между тепловыделяющей поверхностью и основным потоком газа.

Устройство и принцип работы стенда

Нами создан стенд для изучения кинетических и газодинамических параметров каталитических процессов очистки газов. Исследуемый газ подается в смеситель 3 из баллона 2. При необходимости газ смешивается в смесителе 3 вместе с воздухом, нагнетаемым посредством компрессора 1. Количественный состав смешиваемых газов в смесителе 3 задается соотношением скоростей газовых потоков. Использование в одной схеме возможности подачи газов, как из баллонов, так и от компрессора позволяет получать несколько типов смесей, например, углеводород-воздух, азот-воздух, гелий-кислород, гелий-кислород-углеводород и т.д. Вентилями регулируется заданное соотношение газов, подаваемых в смеситель.

В случае необходимости исследования свойств многокомпонентного газа, один или несколько компонентов которого находятся в другом агрегатном состоянии, предусмотрено разделение газового потока на две части, соединяемые после проведения процесса обогащения одной части газа парами жидких или твердых соединений. При этом определенная часть газа направляется в смеситель 6, а заданная часть - в термостатированный сосуд или испаритель. В сосуд помещен жидкий углеводород, а в испаритель - навеска твердого органического соединения. Твердые органические соединения могут быть использованы или в расплавленном состоянии (предусмотрен барботаж через расплав газов - углеводород, азот или гелий). В случае если твердые соединения легко сублимируются (например, нафталин, салициловая кислота, фенол), то их помещают в обогреваемый патрон. Разделенные газовые потоки объединяются вновь в смесителе 6 и поступают в реактор 7.

Стенд для лабораторных исследований протекания каталитических процессов превращений вредных газовых выбросов оснащен датчиками для съема термометрической информации, определения давления, расходов газов. В конструкции стенда предусмотрены точки контроля температур посредством термопар гр. ТХА диаметром 0,1 мм, измерение и регулировка температуры осуществляется восьмиканальным прибором РТЭ-4.8. Измерение, контроль и регулировка расходов газов осуществляется реометрами и ротаметрами. Регулировка расходов газов осуществляется с помощью регулировочных вентилях. Давление, создаваемое слоем катализатора, измеряется с помощью U-образного манометра.

Для поддержания необходимого температурного режима проведения каталитических процессов в изотермическом или адиабатическом режимах в реакторе, в аппаратное оформление стенда включены восьмиканальный прибор РТЭ-4.8, который регулирует связь между термоприемниками и системой нагрева реактора.

Качественный и количественный состав газов, входящих и выходящих из реактора, определяется с помощью газоанализатора Инфракар 5М-2.02.

Основные параметры функционирования стенда выводятся в реальном масштабе времени на ЭВМ (на схеме установки по рис. 1 не указан).

В узле 7 рис. 1, обозначенном как обогреваемый теплоизолированный реактор, в зависимости от целей проводимых исследований размещали реакторы различных конструкций, например, проточные (рис. 2, 3) и безградиентный (рис. 4).

Эти реакторы были использованы для изучения кинетических параметров катализаторов. Конструктивные особенности известных реакторов нами были трансформированы в новые с целью придания им функциональной направленности и в технологических целях удобства их обслуживания, создание заданного теплового режима - обеспечения соответствующей тепловой изоляции и возможности охлаждения.

На рис. 2 приведена схема проточного реактора, который может быть использован и как реактор смешения периодического типа (РИС-П). Конструктивные особенности этого реактора: штуцеры для загрузки катализатора 3, ввода и вывода газа 1 и 5. Реактор оснащен коаксиальным кварцевым капилляром 4, запаянным с одной стороны. В этом капилляре подвижно размещается термопара, что позволяет фиксировать продольный градиент температур, возникающий при адиабатической конверсии органических соединений.

На рис. 3 приведена схема проточного реактора дифференциального типа. В конструкции реактора предусмотрены штуцеры для загрузки катализатора, ввода и вывода газа 1 и 3. Восемь пробоотборников 2 равномерно расположены по длине реактора. Пробоотборники предназначены для размещения в них термопар и служат каналами для отбора проб газа по длине реактора. В таком реакторе легко осуществляется регулировка температур газов по его длине в случае необходимости поддержания изотермического режима; проведения исследований распределения температур газа для проведения процесса конверсии

в адиабатическом режиме; одновременная фиксация концентраций исходных веществ и продуктов реакции каталитической конверсии по длине реактора. Кроме этого конструкция реактора (рис. 3) позволяет проводить исследования температурного поля реакционного газа в реальном времени, что дает возможность снизить инерционность измерения температуры. Размещение термопар на поверхности, внутри зерна катализатора и в потоке газа создает предпосылки для фиксации температурных явлений разогрева катализатора при протекании экзотермических процессов.

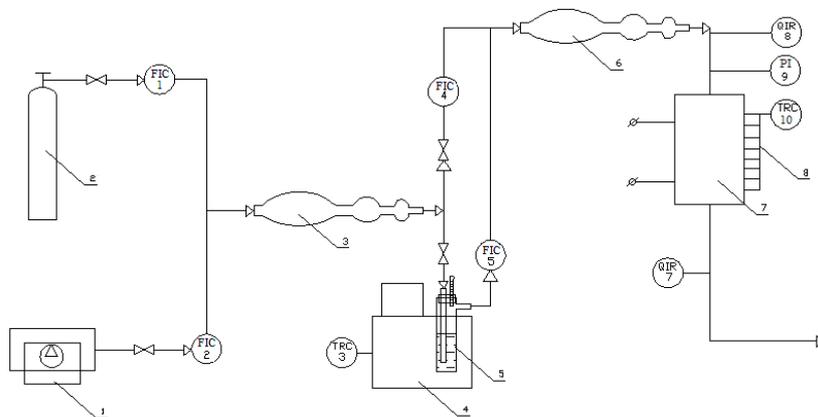


Рисунок 1 – Лабораторный стенд для изучения кинетических и газодинамических параметров каталитических процессов конверсии газов:
 1 – компрессор; 2 – баллоны для подачи газов;
 3, 6 – смесители; 4 – термостат; 5 – сосуд с одним из жидких углеводородов;
 7 – обогреваемый теплоизолированный реактор; 8 – термопары

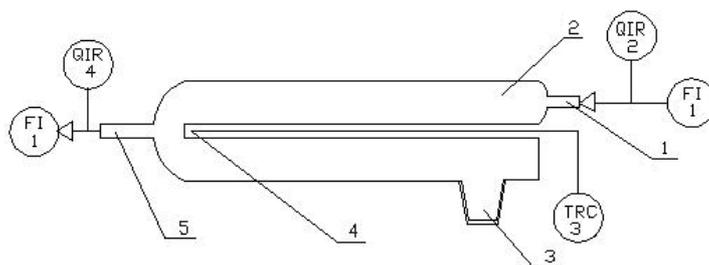


Рисунок 2 – Проточный реактор или РИС-П:
 1, 5 – штуцеры ввода и вывода газа; 2 – корпус реактора;
 3 – штуцер загрузки-выгрузки катализатора; 4 – коаксиальный капилляр

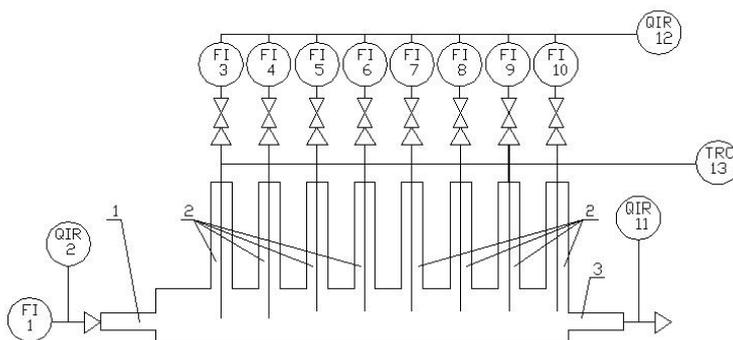


Рисунок 3 – Проточный реактор дифференциального типа:
 1, 3 – штуцеры подачи-вывода газа и загрузки-выгрузки катализатора; 2 – пробоотборники

Считается [5, 8], что проточно-циркуляционный метод является наиболее перспективным при изучении кинетических и газодинамических параметров каталитических процессов очистки газов.

Общая схема такого реактора, заимствованная из работы [9], приведена на рис. 4. Реактор состоит из теплообменной камеры 1, оснащенной электрообогревом 2, внутренней камеры 8 с отверстиями 4 и гильзой 5 для катализатора, представляющей собой суженную часть внутренней камеры со стеклянной сеткой 6. Нижняя часть внутренней камеры с помощью шлифа 7 соединена с трубкой 8, через штуцер 9 которой осуществляют подачу газа в реактор. Трубка 8 проходит через электромагнитную катушку 10, которая обеспечивает возвратно-поступательное движение поршня 11, достигаемое благодаря попеременному включению выключению катушки. В нижней части поршня имеется объем 12, заполненный полосками трансформаторного железа. Пружины 13, 14 амортизируют удары поршня. В верхней части реактора имеются два штуцера 15, 16 для отвода газа, люк 17 для загрузки и выгрузки катализатора, карманы 18 и 19 для термопары. Реактор помещают в стеклянный цилиндр 20 для термостатирования с таким расчетом, чтобы расстояние между стенками цилиндра и реактора составляло 15–18 мм.

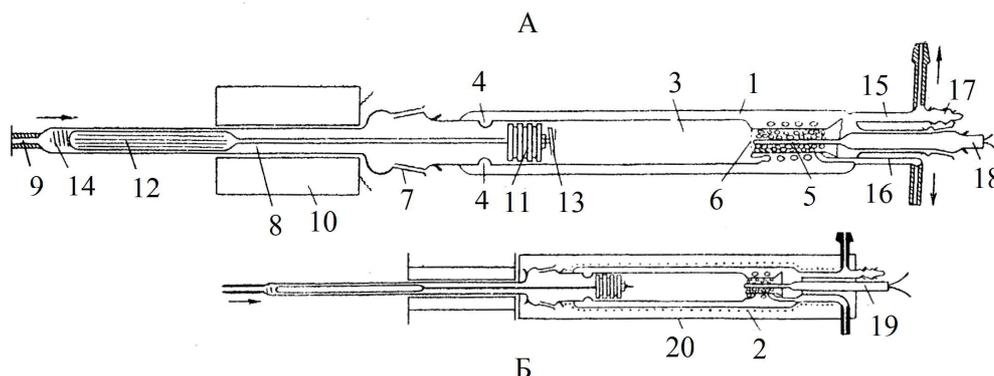


Рисунок 4 - Проточно-циркуляционный реактор:

- 1 - теплообменная камера; 2 - электрообогрев; 8 - внутренняя камера; 4 - отверстия;
 5 - гильза для катализатора; 6 - стеклянная сетка; 7 - шлиф; 8 - трубка; 9 - штуцер;
 10 - электромагнитная катушка; 11 - поршень;
 12 - емкость с полосками трансформаторного железа; 13 и 14 - пружины; 15 и 16 - штуцеры;
 17 - люк; 18 и 19 - карманы для термопары; 20 - стеклянный цилиндр

Реактор с турбулизатором позволяет: а) в случае изменения условий опыта быстрое установление стационарных концентраций реагирующих газов в зоне катализа; б) проведение исследований кинетики каталитических газовых реакций в присутствии водяного пара и с конденсирующимися и полимеризующимися продуктами реакций; в) поддерживать в системе изотермический режим; г) легко осуществлять контроль концентрации веществ до и после слоя катализаторов; д) осуществлять практически любой газодинамический режим при заданной скорости потока реагентов через реактор изменением диаметров гильзы с катализатором и камеры, в которой движется поршень, а также изменением частоты работы поршня.

Посредством созданного стенда и использования описанных реакторов были построены температурные зависимости степени конверсии углеводородов от их концентрации в газовом потоке (рис. 5а), от поверхностной концентрации катализатора на носителе (рис. 5б), от площади поверхности носителя (рис. 5в) и времени контакта газового потока со слоем катализатора (рис. 5г).

Такие проведенные эксперименты позволили получить важнейшие характеристики протекания гетерогенно-каталитического процесса окисления углеводорода: энергию активации, аррениусовский предэкспоненциальный множитель, характеристическую температуру перехода из кинетической области протекания процесса во внешнедиффузионную (рис. 6).

Полученные значения энергии активации E и предэкспоненциального множителя k_0 позволили получить расчетную зависимость степени конверсии углеводородов от температуры (рис. 7), а так же описать математическими моделями ее протекание как в кинетической так и во внешнедиффузионных областях [10].

Выводы. Создан стенд, позволяющий проводить кинетические, газодинамические и температурные исследования разрабатываемых катализаторов и носителей каталитических преобразователей и определять их основные эксплуатационные показатели: энергию активации, предэкспоненциальный множитель уравнения Аррениуса, константу скорости процесса конверсии, коэффициент массоотдачи, аэродинамическое сопротивление. С помощью этих показателей были разработаны математические модели протекания процесса каталитической конверсии в различных областях.

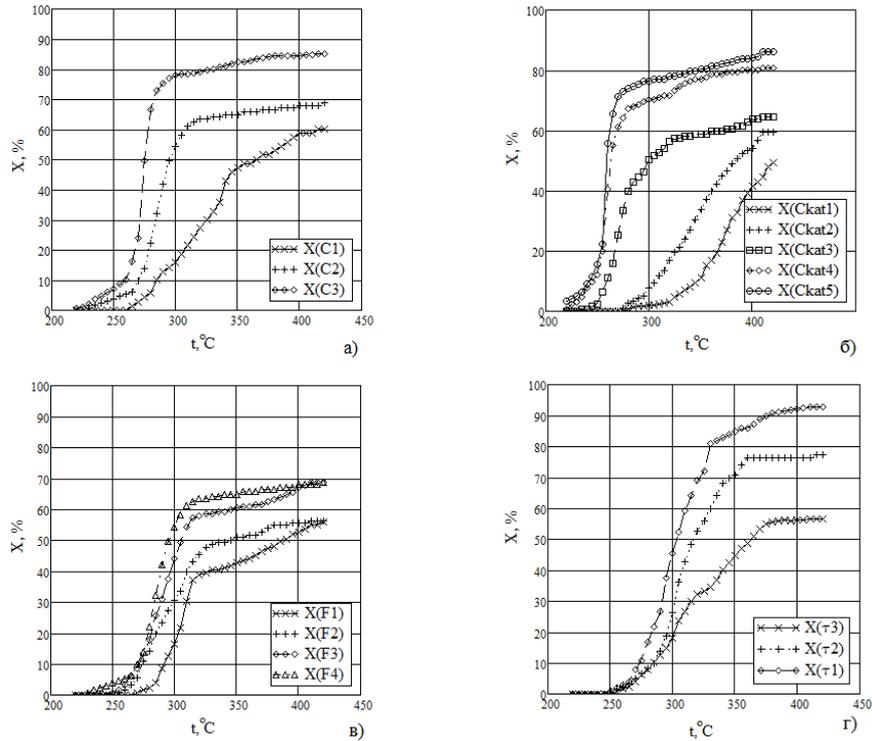


Рисунок 5 - Температурные зависимости степени конверсии углеводородов от:
 а) – концентрации углеводородов в газовом потоке ($C1=4.1 \text{ г/м}^3$, $C2=7.6 \text{ г/м}^3$, $C3=10.7 \text{ г/м}^3$);
 б) - поверхностной концентрации катализатора на носителе ($Ckat1=0.009 \text{ мг/см}^2$, $Ckat2=0.018 \text{ мг/см}^2$,
 $Ckat3=0.069 \text{ мг/см}^2$, $Ckat4=0.459 \text{ мг/см}^2$, $Ckat5=0.917 \text{ мг/см}^2$);
 в) - площади поверхности носителя ($F1=3.04 \times 10^{-3} \text{ м}^2$, $F2=5.99 \times 10^{-3} \text{ м}^2$, $F3=9.04 \times 10^{-3} \text{ м}^2$, $F4=12.49 \times 10^{-3} \text{ м}^2$);
 г) - времени контакта ($\tau1=0.045 \text{ с}$, $\tau2=0.112 \text{ с}$, $\tau3=0.147 \text{ с}$)

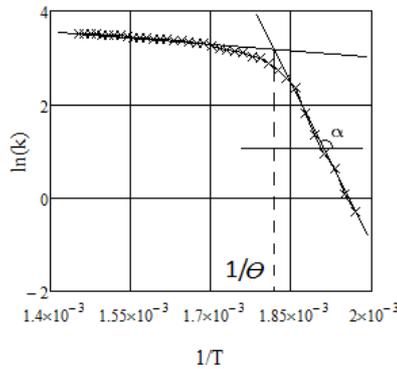


Рисунок 6 - Зависимость логарифма константы скорости процесса конверсии бензола от обратной температуры

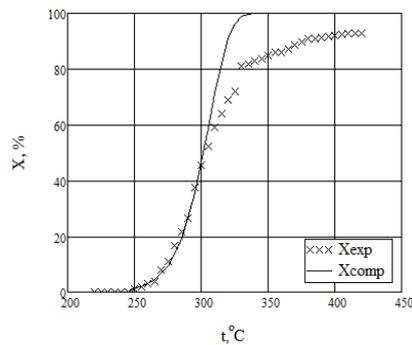


Рисунок 7 - Расчетная X_{comp} и экспериментальная X_{exp} зависимости степени конверсии углеводородов от температуры

Литература

1. Национальный доклад о состоянии окружающей среды в Украине в 2010 году. К.: Центр экологического образования и информации, 2011.
2. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году". М.: 2011.
3. Товажнянский Л.Л., Ведь В.Е., Кошій В.А., Ровенский А.И., Мешалкин В.П., Краснокутский Е.В. Эффективность функционирования очистной системы мобильного комплекса термokatалитического обезвреживания отходов // Теорет. основы хим. технологии. 2011. Т. 45. № 6. С. 648.
4. Бесков В.С., Флокк В. Моделирование каталитических процессов и реакторов. М.: Химия, 1991.
5. Иоффе И.И., Письмен Л.М. Инженерная химия гетерогенного катализа. Л.: Химия, 1972.
6. Levenspiel O. Chemical Reaction Engineering. New York: John Wiley & Sons, 1999.
7. Канило П.М., Бей И.С., Ровенский А.И. Автомобиль и окружающая среда. – Харьков: Прапор, 2000. – 304 с.
8. Mark E. Davis, Robert J. Davis. Fundamentals of Chemical Reaction Engineering. New York: McGraw-Hill, 2003.
9. А.С. 144829 СССР, МПК⁶ B01J8/04. Лабораторный реактор для исследования кинетики газовых каталитических реакций / Г.П. Корнейчук, М.Я. Рубаник; заявл. 02.01.65.
10. Товажнянский Л.Л., Краснокутский Е.В., Ведь В.Е. Кинетика процесса конверсии вредных газовых выбросов двигателей внутреннего сгорания // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25. 2012. Т. 2. С. 135–138.

Bibliography (transliterated)

1. Nacional'nyj doklad o sostojanii okružhajushhej sredy v Ukraine v 2010 godu. K.: Centr jekologičeskogo obrazovanija i informacii, 2011.
2. Gosudarstvennyj doklad "O sostojanii i ob ohrane okružhajushhej sredy Rossijskoj Federacii v 2010 godu". M.: 2011.
3. Tovazhnjanskij L.L., Ved' V.E., Koshij V.A., Rovenskij A.I., Meshalkin V.P., Krasnokutskij E.V. Jefferktivnost' funkcionirovanija ochistnoj sistemy mobil'nogo kompleksa termokataltičeskogo obezvrezhivaniya othodov Teoret. osnovy him. tehnologii. 2011. T. 45. # 6. p. 648.
4. Beskov V.S., Flokk V. Modelirovanie kataliticheskix processov i reaktorov. M.: Himija, 1991.
5. Ioffe I.I., Pis'men L.M. Inzhenernaja himija geterogennogo kataliza. L.: Himija, 1972.
6. Levenspiel O. Chemical Reaction Engineering. New York: John Wiley & Sons, 1999.
7. Kanilo P.M., Bej I.S., Rovenskij A.I. Avtomobil' i okružhajushhaja sreda. – Har'kov: Prapor, 2000. – 304 P.
8. Mark E. Davis, Robert J. Davis. Fundamentals of Chemical Reaction Engineering. New York: McGraw-Hill, 2003.
9. A.S. 144829 SSSR, MPK⁶ B01J8/04. Laboratornyj reaktor dlja issledovanija kinetiki gazovyh kataliticheskix reakcij G.P. Kornejchuk, M.Ja. Rubanik; zajavl. 02.01.65.
10. Tovazhnjanskij L.L., Krasnokutskij E.V., Ved' V.E. Kinetika processa konversii vrednyh gazo-vyh vybrosov dvigatelej vnutrennego sgoranija Matematicheskie metody v tehnike i tehnologijah – ММТТ-25. 2012. Т. 2. p. 135–138.

УДК 66.023.2

Краснокутський С.В., Ведь В.С., Пономаренко Г.В., Кошій В.А.

**СТЕНД ДЛЯ ВИВЧЕННЯ КІНЕТИЧНИХ І ГАЗОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
КАТАЛІТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ**

Розроблено та реалізовано схему стенду вивчення кінетичних та газодинамічних параметрів каталітичних процесів очищення газів, що дає змогу вивчати конверсію твердих, рідких та газоподібних відходів та їхніх сумішей. Розроблено та представлено конструкції реакторів, що дають можливість створювати адіабатичні та ізотермічні умови перебігу процесів конверсії, а також проводити поздовжні і поперечні термометричні дослідження газового потоку та поверхні каталізатора.

Krasnokutsky E.V., Ved` V.E., Ponomarenko A.V., Koschy V.A.

STAND FOR STUDY OF KINETIC AND GAS DYNAMIC PARAMETERS OF THE CATALYTIC GAS PURIFICATION PROCESS

Scheme of stand for studying kinetic and gas dynamic parameters of catalytic gas purification processes, which allows studying conversion of solid, liquid and gaseous wastes and their mixtures was developed and implemented. Designs of reactor that allow to create adiabatic and isothermal conditions of conversion processes, as well as carry out longitudinal and transverse measurement of gas flow temperature and surface of the catalyst were developed and presented

НАНОРАЗМЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В МЕЖФАЗНОМ СЛОЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФУРАНО-ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

Исследование технологии получения и наноразмерных явлений в полимерных наноструктурированных материалах в последние годы интенсивно развивается [1–3].

Одной из наиболее значимых проблем при создании полимерных композитов строительного назначения, решение которой расширяет возможности практического использования наноматериалов, является формирование оптимальной структуры на границе раздела фаз «полимерная матрица – наполнитель» (межфазный слой – МФС). Особую роль данные явления играют в случае использования в композите функционально модифицированного наполнителя (нуль-, моно-, ди- или тримерных).

Модификация поверхности наполнителей с целью придания им специфических свойств (например, регулирования прочности адгезионного контакта на границе раздела фаз, нанесение на нее функциональных агентов – катализаторов структурирования, стабилизаторов, отвердителей и т.д.) может осуществляться в результате: механического воздействия; физико-химических процессов (например, адсорбционное модифицирование), трансформирования поверхности вследствие химических реакций.

Представляло интерес исследовать влияние природы и роли наноразмерных эффектов в межфазном слое, связанных с модификацией поверхности дисперсного наполнителя, на свойства фурано-эпоксидных композиционных материалов строительного назначения.

Объектами исследования служили фурано-эпоксидный реакционноспособный олигомер марки ФАЭД-50(20), представляющий собой смесь фурфуролацетонного мономера марки ФАМ и эпоксидианового олигомера ЭД-20 в равном массовом соотношении, который структурирован аминифенольным агентом низкотемпературного отверждения марки Агидол АФ-2. При этом формируется взаимопроникающая структура, состоящая из фуранового (ФП) и эпоксидного (ЭП) полимеров. Дисперсным наполнителем служил кварцевый песок (КП) фракцией менее 0,63 мм. В качестве модификаторов поверхности кварцевого песка выбраны промышленно освоенные высокомолекулярные соединения из ряда полиацеталей: поливинилбутираль (ПВБ), поливинилбутиральфурфураль (ПВБФ), поливинилформаль (ПВФ), поливинилформальэтилаль (ПВФЭ), поливинилэтилаль (ПВЭ), поливинилкеталь (ПВК).

Модификация поверхности дисперсного наполнителя (кварцевого песка) в рамках данного исследования осуществлялась двумя методами: механическим (совместный помол КП и полиацетала в шаровой мельнице) и адсорбцией из растворов полимеров.

Отличительной физико-химической особенностью частиц нанометрового диапазона (10–100 нм) является повышение энергонасыщенности квази-нульмерных нанообъектов (характерные линейные размеры имеют один порядок величины) в сравнении с массивными образцами, что обусловлено соизмеримостью поверхностных и объемных характеристик наночастиц (соотношением числа атомов и молекул в приповерхностном и внутреннем объемах), и связано с изменениями трансляционной симметрии кристаллической решетки, зонной структуры и других параметров вещества наночастиц [3]. Такие частицы и их агрегаты обладают отличающейся физико-химической и механохимической активностью, в результате чего оказывают существенное влияние на характер и направленность химических процессов структурирования основных компонентов фурано-эпоксидного реакционноспособного олигомера (моно-, дифурфурилиденацетон, эпоксидного олигомера), в межфазном слое, что позволяет целенаправленно регулировать прочностные, технологические и эксплуатационные (функциональные) свойства фурано-эпоксидных полимерных композиционных материалов.

При этом имеет место существенное увеличение реакционной способности наноразмерных частиц наполнителя и модификаторов.

Наносистемы далеки от равновесия из-за наличия развитой поверхности частиц элементов композиционной системы в межфазном и прилегающих слоях.

Энергетическим критерием, позволяющим ранжировать сырье (матрица, наполнитель, модификаторы) в рамках нанотехнологических критериев при создании полимерных композитов, может быть свободная внутренняя энергия дисперсной системы [3].

Критический размер наночастицы полимера (матрицы и модификатора) L_o можно оценить по формуле [4]:

$$L_o = \frac{\sqrt{3h}}{\sqrt{2mk}} \cdot \Theta^{-1/2} = C \cdot \Theta^{-1/2},$$

где k, h – постоянные Больцмана ($1,3808 \cdot 10^{-23}$ Дж/К) и Планка ($6,626 \cdot 10^{-33}$ Дж с) соответственно; m – масса электрона; Θ – характеристическая (дебаевская) температура, К. Параметр C при известных величинах является фактически константой и равен $C = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ м} \cdot \text{К}^{1/2}$. Следовательно, $L_o = 230 \cdot (\Theta_D)^{-1/2} [\text{нм}]$.

Если температура полимерного композита $T \approx \Theta_D$, то процессы, протекающие в композиционной системе, можно описывать на основе представлений классической физики, если $T \ll \Theta_D$, то анализ процессов в полимерном композите включает методы квантовой физики, т.е. учитываются квантовые характеристики элементов композитной системы.

Если дебаевская температура неизвестна или точно не определена, она может быть с достаточной вероятностью оценена по следующей зависимости:

$$\Theta_D = \langle U \rangle \cdot (n)^{1/3} \cdot \frac{h}{2 \cdot \pi \cdot k} (6 \cdot \pi^2) = \bar{U} \cdot (n)^{1/3} \cdot A,$$

где $\langle U \rangle$ – усредненная скорость звука, м/с; n – число атомов в единице объема (атомная плотность полимерного модификатора), м^{-3} . $A = 3 \cdot 10^{-11} \text{ с} \cdot \text{К}$.

Для высокомолекулярных соединений среднюю атомную массу элемента принимаем в среднем 10 а.е.м., т.е. $\langle m \rangle = 1,66 \cdot 10^{-26}$ кг, так как в молекулу полимера входят атомы углерода, водорода, кислорода, азота.

При известной плотности полимера ρ ($\text{кг}/\text{м}^3$) атомная плотность n (кмоль/кг) составляет:

$$n = \frac{\rho}{\langle m \rangle}$$

Усредненную скорость звука $\langle U \rangle$, зависящую от модуля упругости Юнга E , коэффициента Пуассона μ и плотности полимера ρ , определяли как среднее арифметическое значение фазовой скорости звука для продольной U_l и сдвиговой U_t звуковой волны, которые оценивали по известным соотношениям [5]:

$$U_l = \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \mu)}{\rho \cdot (1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}}; U_t = \sqrt{\frac{E}{2\rho \cdot (1 + \mu)}}.$$

Экспериментально определяемая скорость звука в стержнях из полимерных материалов в ряде случаев существенно (в среднем до 35 %) отличается от расчетного значения анализируемого параметра, так как в стержне имеются и другие типы звуковых волн (например, поверхностные).

В табл. 1 приведены данные, полученные экспериментальным и расчетно-теоретическим путем, об ингредиентах межфазного слоя в фурано-эпоксидном композите, содержащим модифицированный полиацетальными кварцевый песок.

Анализ данных, представленных в табл. 1, свидетельствует о том, что процессы в межфазном слое фурано-эпоксидного композиционного материала с модифицированными полиацетальными дисперсным наполнителем (кварцевым песком) обусловлены наноразмерными эффектами и могут быть описаны в рамках понятий классической физики.

Размерная граница между наносостоянием полимерных ингредиентов матрицы (фурановый и эпоксидный полимеры), исследованных модификаторов (полиацеталей) и объемной фазой этих компонентов находится в пределах 15,2–21, 2 нм.

Экспериментально установлено, что при адсорбционной модификации из растворов полиацеталей на поверхности кварцевого песка формируется дискретная «мозаичная» структура адсорбционного слоя, состоящая преимущественно (около 60–70 %) из элементов (клубков макромолекул, их агрегатов) наноразмерного диапазона – до 20 нм.

В случае обработки поверхности кварцевого песка полиацетальными механическим путем (совместный помол наполнителя и модификатора в шаровой мельнице) доля структурных элементов в межфазном слое фурано-эпоксидного композита с размером до 20 нм незначительна и составляет не более 3 %.

Таблиця 1 – Значення параметрів для інгредієнтів МФС фурано-епоксидного композита

Поли- мер	ρ , кг/м ³	E , МПа	μ	U_l , м/с	U_t , м/с	$\langle U \rangle$, м/с	$n \cdot 10^{-30}$, кмоль/м ³	$(n)^{1/3} \cdot 10^{-10}$, кмоль ^{1/3} /м	Θ , К	L_0 , нм
ФП	1450	2900	0,30	1641	877	$\frac{1259}{1415}$	0,0873	0,4436	$\frac{167}{188}$	$\frac{17,8}{16,8}$
ЭП	1250	2700	0,31	1730	908	$\frac{1319}{1470}$	0,0753	0,4223	$\frac{167}{186}$	$\frac{17,8}{16,7}$
ПВБ	1100	1500	0,35	1479	711	$\frac{1095}{1167}$	0,0663	0,4047	$\frac{133}{142}$	$\frac{19,9}{19,3}$
ПВБФ	1050	2400	0,33	1840	927	$\frac{1383}{1512}$	0,0632	0,3983	$\frac{165}{181}$	$\frac{17,9}{17,1}$
ПВФ	1200	4000	0,31	2149	112 8	$\frac{1638}{1826}$	0,0742	0,4202	$\frac{206}{230}$	$\frac{18,1}{15,2}$
ПВФЭ	1240	3200	0,32	1419	987	$\frac{1203}{1606}$	0,0723	0,4166	$\frac{150}{201}$	$\frac{21,2}{16,2}$
ПВЭ	1350	4000	0,31	1515	106 3	$\frac{1289}{1720}$	0,0813	0,4332	$\frac{167}{223}$	$\frac{17,8}{15,4}$
ПВК	1180	3300	0,32	1477	102 9	$\frac{1253}{1672}$	0,0711	0,4143	$\frac{156}{208}$	$\frac{18,4}{15,9}$

Примечание: числитель – в неограниченной твердой среде; знаменатель – в стержне полимера

Однако уровень влияния анализируемых видов модификации (адсорбционная и механическая), несмотря на приведенные отличия, на комплекс деформационно-прочностных, технологических и эксплуатационных свойств фурано-эпоксидных композиционных материалов практически одинаков.

Определяли также следующие параметры, характеризующие состояние полимерных модификаторов (полиацеталей) в межфазном слое фурано-эпоксидного композита с модифицированным наполнителем: максимальная длина вытянутой макромолекулы L_{max} ; истинная контурная длина макромолекулы L_{cont} ; среднеквадратичное расстояние между концами полимерной цепи при свободном вращении всех ее звеньев $(\bar{h}_s^2)^{1/2}$; радиус инерции макромолекулы $\langle S^2 \rangle^{1/2}$; плотность звеньев в макромолекулярном клубке (число звеньев, приходящихся на единицу объема) $\rho_{(s)}$; величина термодинамического сегмента Куна A , характеризующая термодинамическую гибкость цепи; персистентная длина цепи полиацетала, определяемая как среднее значение проекции бесконечно длинной полимерной цепи на направление ее первого звена a (табл. 2).

Определение анализируемых параметров для исследованных систем осуществлялось по известным лабораторным и расчетно-теоретическим методикам [6,7].

Таблиця 2 – Характеристические параметры макромолекул исследованных модификаторов

Полимер	L_{max} , нм.	L_{cont} , нм	$(\bar{h}_s^2)^{1/2}$, нм	$\langle S^2 \rangle^{1/2}$, нм	$\rho_{(s)}$, нм ⁻³	A , нм	a , нм
ПВБ	12027	9940	72	30	42,6	0,52	0,26
ПВБФ	7392	6109	38	16	80,1	0,24	0,12
ПВФ	6468	5345	63	26	48,8	0,74	0,37
ПВФЭ	6160	5091	42	17	72,9	0,35	0,18
ПВЭ	8008	6618	66	27	46,8	0,66	0,33
ПВК	6930	5727	47	19	65,5	0,39	0,20

Как видно из данных табл. 2, химическая природа полимерного модификатора в значительной мере определяет значения анализируемых характеристических параметров, большая часть которых также находится в наноразмерном диапазоне.

Причем в рамках приведенной в литературе классификации наноструктурированных материалов [1], рассматриваемые нанобразования в межфазном слое разработанных фурано-эпоксидных композитов, относятся к группе наноматериалов с эффектом существенного термодинамического и кинетического

влияния размерного фактора на физико-химические процессы формирования системы с учетом различных уровней иерархии.

При измельчении (помоле) в шаровой мельнице кварцевого песка происходит разрыв связей *Si-O-Si* с образованием на поверхности частиц наполнителя свободных радикалов, имеющих незначительный период жизни. Поэтому и целесообразно проводить диспергирование кварца в среде реакционноспособных систем (в данном случае высокомолекулярных соединений – полиацеталей), которые после адсорбции на свежесформированной поверхности частиц кварцевого песка могут с ним образовывать прочные химические связи.

При этом структурно-геометрические параметры формирующихся элементов из исследованных полимерных модификаторов в межфазном слое фурано-эпоксидного композита, могут в определенной мере отличаться от данных, приведенных в табл. 2.

Формирование в фурано-эпоксидных материалах межфазного слоя с высокомолекулярным модификатором (полиацеталем), отличающемся по химической природе от полимерной матрицы с наноструктурированными элементами существенно улучшает (в интервале от 10 до 50 %) спектр свойств композитов строительного назначения.

Таким образом, проведенные экспериментальные и расчетно-теоретические исследования показали наличие в межфазном слое фурано-эпоксидных композитов структурных элементов модифицирующих агентов (макромолекул, их агрегатов), имеющих наноразмерный диапазон, что способствует повышению комплекса прочностных (прочность при изгибе, сжатии), технологических (жизнеспособность) и эксплуатационных (водостойкость) свойств.

Литература

1. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е. Природа и роль наноразмерных эффектов при состоянии равновесия и вдали от него // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2008. – Т. 10. – № 3. – С. 213–216.
2. Минько Н.И., Строкова В.В., Жерновский И.В., Нарцев В.М. Методы получения и свойства нанобъектов.– М.: Флинта. Наука, 2009.– 168 с.
3. Суздаев И.П. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006.– 592 с.
4. Лиопо В.А., Струк В.А., Ковалевич А.В., Авдейчик С.В. Расчет параметров наночастиц полимерных материалов // Пластические массы.– 2008. – № 11. – С. 30–33.
5. Физический энциклопедический словарь. / Гл. ред. А.М. Прохоров – М.: Советская энциклопедия, 1984. – 944 с.
6. Практикум по физике и химии полимеров: Учеб. изд. / Н.И. Авакумова, Л.А. Бударина, С.М. Дивгун и др.; Под ред. В.Ф. Куренкова.– М.: Химия, 1990.– 304 с.
7. Справочник по физической химии полимеров. Т.1 Свойства растворов и смесей полимеров. – К.: Наукова думка, 1984. – 375 с.

Bibliography (transliterated)

1. Vigdorovich V.I., Cygankova L.E. Priroda i rol' nanorazmernih jeffektov pri sostojanii ravnovesija i vdali ot nego Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granicy. – 2008. – Т. 10. – # 3. – p. 213–216.
2. Min'ko N.I., Strokova V.V., Zhernovskij I.V., Narcev V.M. Metody poluchenija i svojstva nanob"ektov.– М.: Flinta. Nauka, 2009.– 168 p.
3. Suzdalev I.P. Nanotehnologija: Fiziko-himija nanoklasterov, nanostruktur i nanomaterialov. – М.: KomKniga, 2006.– 592 p.
4. Liopo V.A., Struk V.A., Kovalevich A.V., Avdejchik S.V. Raschet parametrov nanochastic polimer-nyh materialov Plasticheskie massy.– 2008. – # 11. – p. 30–33.
5. Fizicheskij jenciklopedicheskij slovar'. Gl. re.d. A.M. Prohorov – М.: Sovetskaja jenciklopedija, 1984. – 944 p.
6. Praktikum po fizike i himii polimerov: Ucheb. izd. N.I. Avakumova, L.A. Budarina, S.M. Divgun i dr.; Pod red. V.F. Kurenkova.– М.: Himija, 1990.– 304 p.
7. Spravochnik po fizicheskoj himii polimerov. T.1 Svojstva rastvorov i smesej polimerov. – К.: Naukova dumka, 1984. – 375 p.

УДК 678.5

Рассоха О.М., Черкашина Г.М., Абаляев В.І.

**НАНОРОЗМІРНІ ЯВИЩА У МІЖФАЗНОМУ ПРОШАРКУ МОДИФІКОВАНИХ
ФУРАНО-ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ**

Розглянуті особливості структури (на нанорівні) міжфазного прошарку у фурано-епоксидних композитах, що містять модифікований дисперсний наповнювач.

Rassokha A. Cherkashyna A. Abaljayev V.

**NANO-SCALE PHENOMENA IN THE INTERFACIAL LAYER OF MODIFIED FURAN EPOXY
COMPOSITES**

Nano-scale structure features of the interfacial layer of furan epoxy composites with modified filler are considered.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА

Введение. Электроотопление является одним из альтернативных вариантов газовому отоплению. Согласно [1] использование электроэнергии для отопления допускается при соблюдении следующих условий. Прежде всего, необходимо сократить удельные теплотери здания, повысить значения термического сопротивления ограждающих конструкций здания до нормативных значений путем термомодернизации и применения тепловых утилизаторов в системах вентиляции здания. Вторым условием использования электроэнергии для отопления является применение теплоаккумуляционных систем, потребляющих электроэнергию в ночное время суток. Применение ЭТА в качестве систем отопления является экономически целесообразным для потребителей, т.к. в ночное время действуют понижающие тарифные коэффициенты на потребление электроэнергии. Широкое внедрение теплоаккумуляционных систем позволит избежать резкого перепада нагрузки энергосистемы в ночное время и перевода электрогенерирующих мощностей в режимы, отличные от номинальных, как следствие – уменьшение потерь электроэнергии в электросетях при ее транспортировке и снижении потребления органического топлива на ТЭС.

Анализируя литературные источники по теме исследования [2, 3, 4, 5] можно сделать вывод о том, что недостаточно внимания уделено повышению эффективности и выбору рациональных режимов работы ЭТА. Также необходимо отметить тот факт, что существующие математические модели тепловых аккумуляторов не могут быть применены для расчета и оптимизации современных компактных ЭТА ввиду существенного отличия схемных решений и принципов их работы.

Целью данной работы является расчет нестационарного температурного поля теплоаккумулирующего элемента ЭТА при условии изменения скорости прохождения воздушного потока по каналу теплоаккумулирующего элемента, а также выбор рациональных режимов работы ЭТА на основе выполненных расчетов.

ЭТА работает в 2 режимах: режим заряда (нагрев) и отдачи тепла. В режиме заряда происходит нагрев теплоаккумулирующих элементов с помощью встроенных трубчатых электронагревателей (ТЭН). Схема и подробное описание принципа работы ЭТА представлены в [6].

Схема движения воздушного потока по каналам теплоаккумулирующего элемента и его горизонтальное сечение с заданными ГУ представлены на рис. 1: теплоаккумулирующий элемент квадратного сечения размером 0,2×0,2 м, выполненный из магнезита, в центре которого расположены два параллельных воздушных канала прямоугольного поперечного сечения размером 0,1×0,015 м. Длина каждого воздушного канала – 0,6 м. Таким образом, общая длина канала, по которому проходит воздушный поток, составляет 1,2 м. Боковые поверхности теплоаккумулирующего элемента покрыты тепловой изоляцией, толщина которой составляет 0,05 м. Материал тепловой изоляции – глиноземное волокно, соединенное с оксидом алюминия.

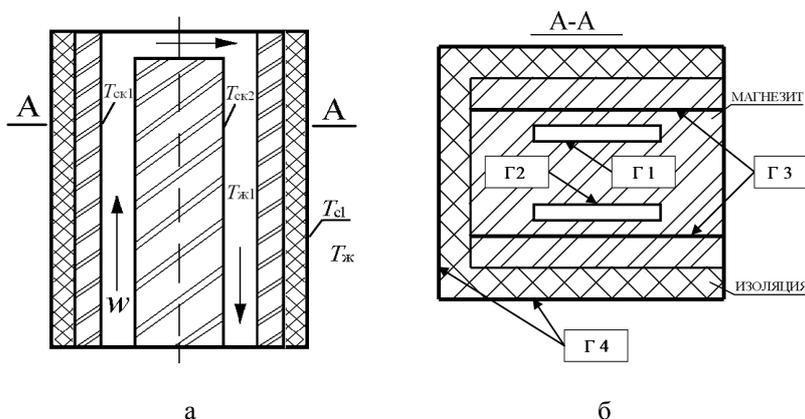


Рисунок 1 – Схема стандартного теплоаккумулирующего элемента с заданными ГУ:

а – схема движения воздушного потока по каналам теплоаккумулирующего элемента; б – горизонтальное сечение теплоаккумулирующего элемента с заданными ГУ

Расчет нестационарного температурного поля теплоаккумулирующего элемента проводился путем решения двухмерной прямой нестационарной задачи теплопроводности методом конечных элементов. Следует отметить, что по высоте воздушного канала условия теплообмена изменяются, что делает задачу теплового взаимодействия потока воздуха и стенок канала трехмерной. Данную трехмерную задачу можно свести к серии двумерных задач, рассматривая горизонтальные сечения воздушного канала и задавая температуру воздуха в каждом из сечений с учетом его нагрева в предшествующих участках канала.

При формировании модели тепловых процессов в элементе ЭТА принимались следующие условия:

1. Теплофизические характеристики ТАМ, тепловой изоляции и материала ТЭН приняты постоянными.
2. Начальное распределение температуры в теле теплоаккумулирующего элемента является однородным.
3. Скорость движения воздуха принята постоянной по всей длине воздушного канала. Расчет проводится для временного промежутка $\tau = 120$ часов. Шаг счета $\Delta\tau = 1$ час. Шаг счета $\Delta\tau$ выбран в соответствии с условием, приведенным в [7].

Начальное распределение температуры в стенке воздушного канала теплоаккумулирующего элемента было принято $T_{\tau=0} = 100$ °С.

Граничные условия (ГУ) выбраны с учетом работы ЭТА в режимах заряда и отдачи тепла (рис. 1):

$$\text{– на границе Г1: } \alpha_1 (T_{СК1} - T_{ж1}) = -\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial x}; \quad \alpha_1 = f(\tau); \quad T_{ж1} = f(\tau);$$

$$\text{– на Г2: } \alpha_2 (T_{СК2} - T_{ж1}) = -\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial x}; \quad \alpha_2 = f(\tau); \quad T_{ж1} = f(\tau);$$

$$\text{– на Г3: } -\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial x} = q;$$

$$\text{– на Г4: } -\lambda_3 \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha_3 (T_{С1} - T_{ж}); \quad \alpha_3 = f(\tau).$$

Смоделируем режим работы электротеплоаккумуляционной системы отопления для помещения административного здания. Необходимо обеспечить температуру воздуха в помещении 20 °С. Окна ориентированы на запад. Максимальные значения тепlopотуплений от солнечной радиации наблюдается в период с 13.00 до 15.00. Выбран временной интервал 5 суток: 2 рабочих дня, 2 выходных дня, 1 рабочий день после выходных.

Для выбора рационального режима работы ЭТА рассмотрим 2 варианта: 1. В течение первых двух суток и суток после выходных задавался следующий режим работы ЭТА: с 07.00 до 13.00 скорость движения воздуха в канале – $\omega = 3$ м/с; с 13.00 до 15.00 – отключение вентилятора ЭТА; с 15.00 до 18.00 – $\omega = 2,5$ м/с; с 18.00 до 24.00 – $\omega = 2$ м/с; с 24.00 до 07.00 – режим заряда ЭТА. В течение 2 выходных дней теплоотдача от стенки воздушного канала теплоаккумулирующего элемента к потоку нагреваемого воздуха происходит при постоянной скорости $\omega = 2$ м/с. Режим заряда ЭТА – с 24.00 до 07.00; 2) Для первых двух суток и суток после выходных режим работы ЭТА остается неизменным. В субботу: режим заряда ЭТА – с 24.00 до 07.00. Режим отдачи тепла путем вынужденной конвекции не осуществляется (вентилятор отключен). Нагрев помещения в течение дня осуществляется за счет остывания наружной поверхности ЭТА путем естественной конвекции. Режим заряда ЭТА – с 04.00 до 07.00. В воскресенье: в течение всего дня теплоотдача от стенки воздушного канала теплоаккумулирующего элемента к потоку нагреваемого воздуха происходит при постоянной скорости $\omega = 3$ м/с. Режим заряда ЭТА – с 24.00 до 07.00.

ГУ подбирались таким образом, чтобы обеспечить нагрев теплоаккумулирующего элемента в режиме заряда до температуры 650 °С [2], т.к. предельно допустимая температура нагрева наружной оболочки ТЭН не более 700 °С [8], а в конце периода отдачи тепла получить температуры стенки воздушного канала $T_{СК}$ не менее 50 °С [9].

На рис. 2 показано изменение коэффициентов теплоотдачи от стенок каналов к потоку нагреваемого воздуха для первого α_1 и второго канала α_2 (режим отдачи тепла), а также задание ГУ II рода во времени (режим заряда). Значения α и q , представленные на рис. 2, моделируют режим работы ЭТА в рабочий и выходной день.

Полученное распределение температуры в стенке воздушного канала $T_{СК}$ теплоаккумулирующего элемента ЭТА при двух режимах работы представлено на рис. 3.

Следует отметить, что при отключении вентилятора ЭТА в период с 13.00 до 15.00 наблюдается повышение $T_{СК}$ на 13–15 °С за счет тепловой инерции аккумулирующего материала (рис. 3 а,б). В субботу в

течение дня при отключенном вентиляторе ЭТА происходит остывание теплоаккумулирующих элементов в среднем на 200 °С (рис. 3б).

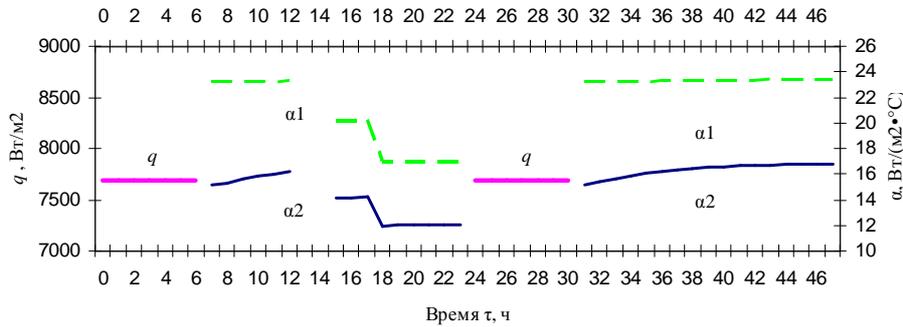
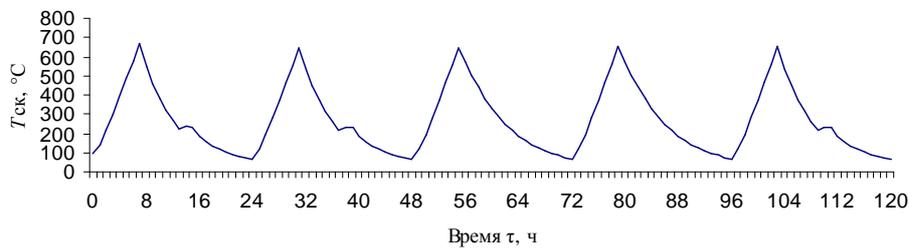
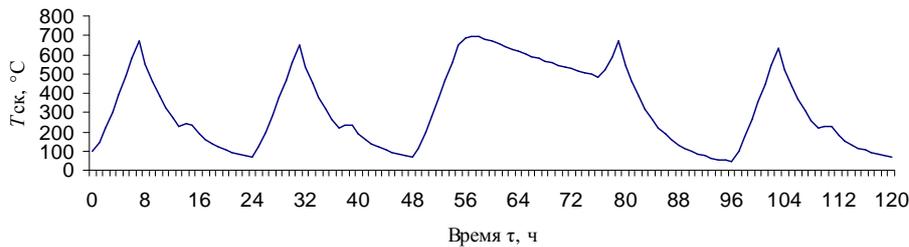


Рисунок 2 – Задание ГУ на ГЗ, Г2 и Г1 во времени τ



а



б

Рисунок 3 – Распределение температуры $T_{СК}$ в стенке воздушного канала теплоаккумулирующего элемента в течение $\tau = 120$ часов: а – режим 1; б – режим 2

Таким образом, по результатам проведенных расчетных исследований можно сделать вывод о том, что режим работы 2 ЭТА (рис. 3б) является более рациональным.

Для оценки экономической эффективности работы ЭТА проведено сравнение с электрическим нагревательным прибором конвективного типа. Рассмотрим 3 ЭТА и 3 электрических конвектора одинаковой электрической мощностью по 2 кВт каждый, работающие в течение 5 суток. При расчете учитывался трехзонный тариф для непромышленных потребителей II класс напряжения (менее 35 кВ). Стоимость электроэнергии для данного класса потребителей – 0,9924 грн. [10]. Сравнительная характеристика рассматриваемых электрических отопительных приборов приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Количество потребляемой электроэнергии и ее стоимость для ЭТА и электрического нагревательного прибора конвективного типа (конвектор)

№ п/п	Тип отопительного прибора	Е, кВт·ч	S, грн.
1	ЭТА(режим 1)	210	72, 94
2	ЭТА(режим 2)	186	64, 61
3	Электрический конвек-	510	31

	тор		6,95
--	-----	--	------

Выводы. Результаты проведенных расчетных исследований показали, что сформированная математическая модель может быть использована для выбора рациональных режимов работы ЭТА. С помощью данной модели возможен расчет температурного поля теплоаккумулирующего элемента, который позволит определить температуру воздуха на выходе из ЭТА, его тепловую мощность с учетом тепловых потерь ЭТА и влияния внешних климатических параметров.

Обозначения. $T_{СК1}$, $T_{СК2}$ – температуры стенки 1 и 2 воздушного канала соответственно, °С; $T_{ж}$ – температура окружающей среды, °С; $T_{ж1}$ – температура нагреваемого воздуха, °С; $T_{С1}$ – температура наружной поверхности теплоизоляции ЭТА, °С; α_1 , α_2 , α_3 – коэффициент теплоотдачи от стенки воздушного канала 1 и 2 к потоку нагреваемого воздуха и от наружной поверхности тепловой изоляции к потоку окружающего воздуха, соответственно, Вт/(м²·°С); q – плотность теплового потока от стенки ТЭН, Вт/м²; λ_1 , λ_2 , λ_3 – коэффициент теплопроводности магнезита, стальной оболочки ТЭН, тепловой изоляции, соответственно, Вт/(м·°С); E – кол-во потребляемой электроэнергии в течение суток, кВт; S – стоимость потребленной электроэнергии, грн.

Литература

1. СНиП 2.04.05-91*У Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха [Текст]. – Введ. 21.01.1994; переиздан 27.06.1996 с Изм. № 1 и 20.12.2000 с Изм. №2. – М.: ГП ЦПП Минсторм России, 1994. – 66 с.
2. Симонов, А.А. Бытовое электрическое отопление с аккумулярованием тепла – важнейший фактор эффективного использования электроэнергии [Текст] / А.А. Симонов // Энергетика и электрификация. – 1992. – № 1. – С. 26–30.
3. Левенберг, В.Д. Аккумулярование тепла [Текст] / В.Д. Левенберг, М.Р. Ткач, В.А. Гольстрем – К.: Техника, 1991. – 112 с.
4. Шмидт. Переходные процессы в тепловом аккумуляторе с твердым наполнителем [Текст] / Шмидт, Сцега // Теплопередача. – 1976. – № 3. – С. 141–148.
5. Высоккий, Л.И. Электроотопители аккумулярующего типа [Текст] / Л.И. Высоккий. – М.: Информэлектро, 1971. – 17 с.
6. Мацевитый, Ю.М. Оценка энергетической эффективности систем электротеплоаккумуляционного отопления административных зданий [Текст] / Ю.М. Мацевитый, Н.Г. Ганжа, А.В. Хименко // Энерго-сбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 10. – С. 9–16.
7. Теплотехника [Текст] / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт [и др.]; под. ред. А.П. Баскакова. – 2-е изд. перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.
8. ГОСТ 19108-81. Электронагреватели трубчатые (ТЭН) для бытовых нагревательных приборов [Текст]. – Взамен ГОСТ 19108-79; введ. 14.08.1981; переиздан (08.1990) с Изм. № 1,2 от 06.1987 и 05.1990. – М.: Государственный комитет по стандартам СССР, 1990. – 21 с.
9. Тепловые накопители [Электронный ресурс]: US ENERGY. – Режим доступа: <http://us-energy.com.ua/index.php/12-dinamicheskie-teplovye-nakopiteli-elnur.html>. – Название с экрана.
10. Розміри діючих тарифів на електроенергію на березень 2013 року [Электронный ресурс]: официальный сайт акционерной компании ХАРЬКОВОБЛЭНЕРГО. – Режим доступа: <http://www.oblenergo.kharkov.ua/tarif.html>. – Название с экрана.

Bibliography (transliterated)

1. SNiP 2.04.05-91*U Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie vozduha [Tekst]. – Vved. 21.01.1994; pe-reizdan 27.06.1996 s Izm. # 1 i 20.12.2000 s Izm. #2. – M.: GP CPP Minstorj Rossii, 1994. – 66 p.
2. Simonov, A.A. Bytovoe jelektricheskoe otoplenie s akumulirovaniem tepla – vazhnejshij faktor jeffektivnogo ispol'zovanija jelektroenergii [Tekst] A.A. Simonov Jenergetika i jelektrifikacija. – 1992. – # 1. – p. 26–30.
3. Levenberg, V.D. Akkulirovanie tepla [Tekst] V.D. Levenberg, M.R. Tkach, V.A. Gol'strem – K.: Teh-nika, 1991. – 112 p.
4. Shmidt. Perehodnye processy v teplovom akumuljatore s tverdym napolnitelem [Tekst] Shmidt, Scego Teploperedacha. – 1976. – # 3. – p. 141–148.
5. Vysockij, L.I. Jelektrootopiteli akumulirujushhego tipa [Tekst] L.I. Vysockij. – M.: Infor-mjelektro, 1971. – 17 p.

6. Macevityj, Ju.M. Ocenka jenergeticheskoy jeffektivnosti sistem jelectroteploakkumuljacionnogo otoplenija administrativnyh zdaniy [Tekst] Ju.M. Macevityj, N.G. Ganzha, A.V. Himenko Jenergo-sberezhenie. Jenergetika. Jenergoaudit. – 2011. – # 10. – p. 9–16.

7. Teplotehnika [Tekst] A.P. Baskakov, B.V. Berg, O.K. Vitt [i dr.]; pod. red. A.P. Baskakova. – 2-e izd. pererab. – M.: Jenergoatomizdat, 1991. – 224 p.

8. GOST 19108-81. Jelectronagrevateli trubchatye (TJeN) dlja bytovyh nagrevatel'nyh priborov [Tekst]. – Vzamen GOST 19108-79; vved. 14.08.1981; pereizdan (08.1990) s Izm. # 1,2 ot 06.1987 i 05.1990. – M.: Gosudarstvennyj komitet po standartam SSSR, 1990. – 21 p.

9. Teplovyje nakopiteli [Jelectronnyj resurs]: US ENERGY. – Rezhim dostupa: <http://us-energy.com.ua/index.php/12-dinamicheskie-teplovyje-nakopiteli-elnur.html>. – Nazvanie s jekrana.

10. Rozmiri dijuchih tarifiv na elektroenergiju na berezen' 2013 roku [Jelectronnyj resurs]: ofici-al'nyj sajt akcionernoj kompanii HAR"KOVOBLJeNERGO. – Rezhim dostupa: <http://www.oblenergo.kharkov.ua/tarif.html>. – Nazvanie s jekrana.

УДК 66.042.88:536.244

Хіменко О.В., Тарасова В.О.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТЕПЛООВОГО АКУМУЛЯТОРА

Виконано чисельне моделювання режимів роботи електричного теплового акумулятора (ЕТА). Отримано розподіл температури в теплоакumuлюючому елементі з урахуванням регулювання швидкості руху повітряного потоку по каналу теплоакumuлюючого елемента ЕТА. Показано ефективність електротеплоакumuляційних систем опалення в порівнянні з традиційними системами електроопалення.

Khimenko A.V., Tarasova V.A.

RESEARCH OF MODES OF FUNCTIONING OF ELECTRIC THERMAL STORAGE

Numerical simulation modes of functioning electric thermal storage (ETS). Obtained the distribution of temperature in the thermal storage element with the speed control of air flow through the channel thermal storage element ETS. Showed the efficiency of electric thermal storage systems as compared to traditional electric heating systems.

Редько А.А., Компан А.И., Редько А.Ф.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАСКАДНОЙ УТИЛИЗАЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Введение. В настоящее время экономия топливно-энергетических ресурсов становится одной из важнейших задач повышения энергоэффективности промышленных и отопительных котельных городских систем теплоснабжения, топливоиспользующих агрегатов и промышленных печей. Одним из методов повышения их эффективности является преобразование теплоты уходящих газов в когенерационной установке для производства электроэнергии и использование ее для собственных нужд [1–3]. Однако эта проблема изучена недостаточно из-за сложности термодинамических процессов преобразования теплоты потока продуктов сгорания, температурный (энтальпийный) потенциал которых изменяется от 120 до 350 °С и выше, и является достаточно низким.

Формулировка проблемы. Рассмотрим процессы преобразования теплоты топливоиспользующего источника (промышленные печи металлургического производства, компрессорные станции магистральных газопроводов, стекловаренные печи, котельные установки и др.) с температурой удаляемых газов 120–350 °С. Объемы вторичных энергоресурсов, которые могут быть использованы и преобразованы, составляют десятки МВт тепловой энергии. Однако для всего температурного диапазона удаляемых продуктов сгорания отсутствует универсальная тепловая схема энергетической паросиловой установки и не могут быть в настоящее время определены (рекомендованы) эффективные рабочие теплоносители. Так при температуре продуктов сгорания до 200–220 °С рекомендуются такие рабочие органические вещества как н-пентан, н-гексан [4–10], смесь (i-бутан – i-пентан) [11], бензол [8]; при более высокой температуре уходящих газов практически отсутствуют рекомендации по выбору эффективного рабочего вещества.

Широко рекомендуется водяной пар, как негорючее и экологически безопасное рабочее вещество. Однако в данном температурном диапазоне (до 350 °С) использование водяного пара недостаточно эффективно. Поэтому ведутся поиски других рабочих веществ, в [12] рекомендуется водоаммиачная смесь.

Цель работы. Повышение эффективности процессов преобразования низкопотенциальной теплоты в утилизационных энергетических установках.

Основные результаты. Результаты численных исследований, выполненных авторами, термодинамической эффективности циклов одноступенчатых энергетических установок показывают, что процессы расширения пара в турбине завершаются при высокой температуре пара (150–250 °С), что приводит к высокой тепловой нагрузке на конденсатор, при этом снижается КПД цикла и коэффициент использования топлива. Это объясняется теплофизическими свойствами рабочих веществ и конфигурацией пограничной кривой насыщенного пара. Поэтому были рассмотрены двухступенчатые и трехступенчатые (каскадные) тепловые схемы утилизационных энергетических установок.

Тепловая схема теплоутилизационной энергетической установки и циклы приведены на рис. 1.

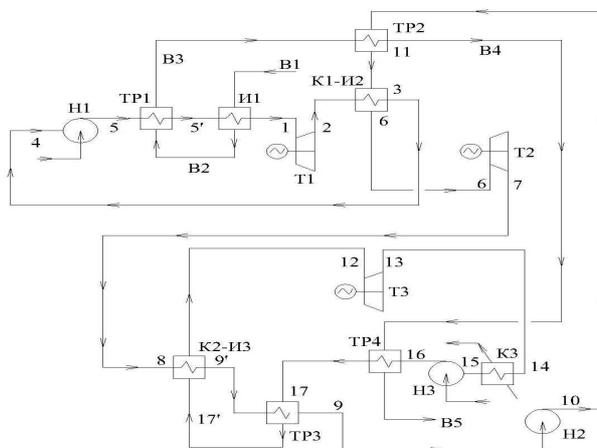


Рисунок 1 – Схема энергетической станции с многоступенчатым бинарным циклом (Т1, Т2, Т3 – турбогенераторы; Н1, Н2, Н3 – насосы; И1 – испаритель 1-й ступени; К1–И2 – конденсатор-испаритель 2-й ступени; К2–И3 – конденсатор-испаритель 3-й ступени; К3 – конденсатор 3-й ступени; ТР1, ТР2, ТР3, ТР4 – теплообменники-регенераторы

Таблиця 2 – Значення параметрів многоступенчатих енергетических установок

№ п/п	Рабочее вещество	$t_{1,6,12}$ °C	$t_{2,7,13}$ °C	$P_{1,6,12}$ кПа	$P_{2,7,13}$ кПа	m кг/с	Δi кДж/кг	W кВт/(кг/с)	$COP/\eta_{и}$
1	Верхний каскад установки								
	R601a	347	255,6	6000	92	0,53	190	98,4	-
	Нижний каскад установки								
	iC ₄ H ₁₀ /R161	252,6	194,6	6000	1200	0,36	79	28,9	0,20/0,95
2	Верхний каскад установки								
	R602	347	237	6000	20	0,53	200	109,2	-
	Нижний каскад установки								
	iC ₄ H ₁₀ /R161	234	174	6000	1200	0,35	75	26,4	0,22/0,95
3	Верхний каскад установки								
	R602	347	237	6000	20	0,53	200	109,2	-
	Средний каскад установки								
	iC ₄ H ₁₀ /R161	234	174	6000	1200	0,35	75	26,4	-
	Нижний каскад установки								
	R134a	171	88	6000	660	0,34	43	14,4	0,24/0,95
4	R601a	347	253	6000	80	0,53	192,8	102,7	0,17/0,96
5	R602	347	236	6000	20	0,54	204,5	111,0	0,19/0,96

Примечание: $t_{1,6,12}$ – температура пара перед турбиной каскадов; $t_{2,7,13}$ – температура пара после турбины; $P_{1,6,12}$, $P_{2,7,13}$ – давление пара соответственно до и после турбин каскадов; m – расход рабочего теплоносителя; Δi – изменение удельное энтальпии пара; W – удельная вырабатываемая мощность; $COP, \eta_{и}$ – соответственно коэффициент преобразования и утилизации

Как видно температура пара на выходе из турбины одноступенчатой энергетической установки при использовании рабочих веществ R601a (i-пентан), R602 (н-гексан) имеет значение 253 °C и 236 °C при довольно низком давлении в конденсаторе, соответственно 80кПа и 20кПа. Таким образом, температурный потенциал пара используется недостаточно эффективно.

Применение многоступенчатых (каскадных) энергетических установок позволяет повысить термодинамическую эффективность циклов [13]. В таблице 2 приведены результаты расчета сверхкритических циклов двух- и трехступенчатых энергетических установок с органическими рабочими веществами.

Использование в качестве рабочего вещества н-гексана в 1-й ступени (верхней) и смеси (i-C₄H₁₀+R161) (60/40) во 2-й нижней ступени обеспечивает выработку 135,6 кВт удельной электрической мощности (на кг/с продуктов сгорания). В одноступенчатой энергетической установке с н-гексаном вырабатывается 111 кВт, т.е. на 18 % меньше. При этом коэффициент преобразования (COP) повышается от 0,19 для одноступенчатой установки до 0,22 для двухступенчатой, т.е. на 3 %. Однако температура пара на выходе из нижней (2-й ступени) равна 174 °C и является довольно высокой.

В цикле с трехступенчатой энергетической установкой имеется возможность существенно понизить температуру пара до 88 °C на выходе из турбины 3-й ступени. При этом КПД многоступенчатой установки повышается до 0,24, а выработка удельной электрической мощности – до 162 кВт, т.е. на 31,5 % по сравнению с одноступенчатой энергетической установкой.

Изменение удельной энтальпии пара в двухступенчатой энергетической установке с рабочими веществами н-гексан+смесь (iC₄H₁₀ /R161)(60/40) составляет 275 кДж/кг, а с рабочими веществами i-пентан+смесь (iC₄H₁₀ /R161)(60/40) – 269 кДж/кг.

Изменение удельной энтальпии пара в трехступенчатой энергетической установке повышается до 318 кДж/кг, т.е. на 13,5 %.

Выводы. Результаты численного исследования показывают, что при температуре продуктов сгорания топливоиспользующего агрегата 350–400 °C возможно использование в двухступенчатой тепловой схеме: н-гексан (R602) – в верхнем цикле и (i-бутан (R600a)/R161) – в нижнем цикле; в трехступенчатой тепловой схеме энергетической установки: н-гексан (R602) – в верхнем цикле, (i-бутан (R600a)/R161) – среднем и R134a – в нижнем цикле. Суммарная выработка удельной электрической мощности составляет

около 162 кВт/(кг/с) и на 31,5 % выше по сравнению с одноступенчатой энергетической установкой на н-гексане. При этом КПД установки повышается от 0,19 до 0,24.

Литература

1. Долінський А.А. Енергозберігаючі технології для промисловості, комунальної та промислової енергетики / А.А. Долінський, О.І. Чайка // Інформаційно-аналітичний довідник «Енергозбереження в регіонах» – Київ.– 2004.– С. 47–50.
2. Дикий Н.А. Комбинированное производство энергии для преодоления кризиса в энергетике. Эко-технологии и ресурсосбережение – Київ – 2000. – №1. –С. 13–17.
3. Карп И.Н. Эффективное производство энергии на компрессорных станциях магистральных газопроводов / И.Н. Карп, Р.М. Говдяк, И.М. Калапунь и др. //Экотехнологии и ресурсосбережение – Київ – 2002. –№3. – С. 12–22.
4. Шварц Г.Р. Утилизационные энергетические установки с органическими теплоносителями / Г.Р. Шварц, С.В. Голубев, Б.П. Гевыкин и др.// Газовая промышленность – 2000.–№6.– С. 14–18.
5. Пятничко В.А. Утилизация низкопотенциального тепла для производства электроэнергии с использованием пентана в качестве рабочего тела / В.А. Пятничко, Т.К. Крушневич, А.И. Пятничко // Эко-технологии и ресурсосбережение – 2003. – №4. С. 3–6.
6. Сапожников М.Б. Электрические станции на низкокипящих рабочих телах / М.Б. Сапожников, М.И. Тимошенко // Теплоэнергетика –2005.–№3.– С. 73–77.
7. Смирнов А.В. Комбинированные парогазовые установки с реализацией цикла Ренкина / А.В. Смирнов, В.П. Парафейник, Д.А. Сидоренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2012.– 3/10 (57).– С. 20–24.
8. Чепурний М.М. Теплоэлектроцентралі на базі газотурбінних установок і парових турбін з низькотемпературним робочим тілом / М.М. Чепурний, С.Й. Ткаченко // Вісник Вінницького політехнічного інституту–2010.– №4.– С. 21–25.
9. Билека Б. Утилизация сбросной теплоты ГПА в установках низкокипящими рабочими телами / Б. Билека, Е. Васильев, В. Кабанов // Газотурбинные технологии– 2002.– №5.– С. 6–10.
10. Гринман М.И. Перспективы применения энергетических установок с низкокипящими рабочими телами / М.И. Гринман, В.А. Фомин //Новости теплоснабжения–2010.–№7.– С. 13–18.
11. Редько А.А. Термодинамическая эффективность тепло-утилизационных установок с каскадным циклом органического теплоносителя / А.А. Редько, С.В. Павловский // Інтегровані технології та енергозбереження–2011.–№4.– С. 17–22.
12. Васильев В.А. Расчет параметров унифицированной геотермальной энергоустановки на водоаммиачной смеси / В.А. Васильев, А.В. Крайнов, И.Г. Говорков //Теплоэнергетика–1996.–№5.–С. 27–32.
13. Редько А.А. Рациональные термодинамические параметры циклов многоступенчатой геотермальной станции. Проблемы машиностроения. ИПмаш НАНУ–2010.–т.13.– №4.– С. 76–82.

Bibliography (transliterated)

1. Dolins'kij A.A. Energozberigajuchi tehnologii dlja promislovosti, komunal'noї ta promislovoi ene-rgetiki A.A. Dolins'kij, O.I. Chajka Informacijno-analitichnij dovidnik «Energozberzhennja v regio-nah» – Kiiv.– 2004.– p. 47–50.
2. Dikij N.A. Kombinirovannoe proizvodstvo jenerгии dlja preodolenija krizisa v jenergetike. Jeko-tehnologii i resursosberezhenie – Kiiv – 2000. – #1. –p. 13–17.
3. Karp I.N. Jefferktivnoe proizvodstvo jenerгии na kompressornyh stancijah magistral'nyh gazo-provodov I.N. Karp, R.M. Govdjak, I.M. Kalapun' i dr. Jekotehnologii i resursosberezhenie – Kiiv – 2002. –#3. – p. 12–22.
4. Shvarc G.R. Utilizacionnye jenergeticheskie ustanovki s organichesкими teplonositeljami G.R. Shvarc, S.V. Golubev, B.P. Gevykin i dr. Gazovaja promyshlennost' – 2000.–#6.– p. 14–18.
5. Pjatichko V.A. Utilizacija nizkopotencial'nogo tepla dlja proizvodstva jelektrojenerгии s ispol'-zovaniem pentana v kachestve rabocheго tela V.A. Pjatichko, T.K. Krushnevich, A.I. Pjatichko Jekoteh-nologii i resursosberezhenie – 2003. – #4.p. 3–6.
6. Sapozhnikov M.B. Jelektricheskie stancii na nizkokipjashhjih rabochih telah M.B. Sapozhnikov, M.I. Timoshenko Teplojenergetika –2005.–#3.– p. 73–77.
7. Smirnov A.V. Kombinirovannye parogazovye ustanovki s realizaciej cikla Renkina A.V. Smirnov, V.P. Parafejnik, D.A. Sidorenko Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij – 2012.– 3/10 (57).– p. 20–24.

8. Chepurnij M.M. Teploelektrocentrali na bazi gazoturbinnih ustanovok i parovih turbin z niz'ko-temperaturnim robochim tilom M.M. Chepurnij, S.J. Tkachenko Visnik Vinnic'kogo politehnicnogo institutu–2010.– #4.– p. 21–25.

9. Bileka B. Utilizacija sbrosnoj teploty GPA v ustanovkah nizkokipjashhimi robochimi telami

B. Bileka, E. Vasil'ev, V. Kabanov Gazoturbinnje tehnologii– 2002.– #5.– p. 6–10.

10. Grinman M.I. Perspektivy primeneniya jenergeticheskikh ustanovok s nizkokipjashhimi robochimi telami M.I. Grinman, V.A. Fomin Novosti teplosnabzhenija–2010.–#7.– p. 13–18.

11. Red'ko A.A. Termodinamicheskaja jeffektivnost' teplo-utilizacionnyh ustanovok s kaskadnym ciklom organicheskogo teplonositelja A.A. Red'ko, S.V. Pavlovskij Integrovani tehnologii ta energo-zberezhenija–2011.–#4.– p. 17–22.

12. Vasil'ev V.A. Raschet parametrov unificirovannoj geotermal'noj jenergoustanovki na vodoam-miachnoj smesi V.A. Vasil'ev, A.V. Krajnov, I.G. Govorkov Teplojenergetika–1996.–#5.–p. 27–32.

13. Red'ko A.A. Racional'nye termodinamicheskie parametry ciklov mnogostupenchatoj geotermal'-noj stancii. Problemy mashinostroeniya. IPmash NANU–2010.–t.13.– #4.– p. 76–82.

УДК 621.438; 536.7

Редько А.О., Компан А.І., Редько О.Ф.

ТЕРМОДИНАМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КАСКАДНОЇ УТИЛІЗАЦІЙНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Наведені чисельні результати дослідження ефективності циклів утилізаційної каскадної енергетичної установки з різноманітними органічними робочими речовинами. Показана можливість їх застосування при температурі відхідних газів паливовикористовуючого агрегату до 350–400 °С.

Redko A.A., Kompan A.I., Redko A.F.

THE THERMODYNAMIC EFFICIENCY OF THE CASCADE UTILIZATION OF POWER PLANT

In article numerical research results of efficiency utilization cascade power plant cycles with different organic working substances are considered. It is showed possibility of their use at a temperature of flue gases heat consuming unit up to 350–400 °С.

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ В ЕКСТРАГУВАННІ РОСЛИННИХ ОЛІЙ

Актуальність та мета досліджень. В умовах великих енергетичних затрат на переробку сировини, харчові технології потребують нових підходів вирішення проблем сучасного суспільства з підвищення параметрів якості продуктів харчування, енергоємності та екологічної безпеки технологій.

Інтенсифікування процесів масоперенесення є актуальним питанням у вирішенні зазначеної проблеми. Перспективними на сьогоднішній день є мікрохвильові системи з дією бародифузії, які при переробці рослинної сировини є потужним механізмом підвищення ефективності масообмінних апаратів [1].

Зростаюча потреба в продукції високої якості, збагаченій біологічно активними речовинами, що містить компоненти виключно природного походження збільшила число досліджень з даної проблеми. Так, на базі ОНАХТ сформовано науковий напрям та проведено ряд досліджень з впровадженням мікрохвильових технологій при переробці продукції рослинного походження: виготовлення коньячних напоїв із екстрактами деревини, екстрагування кавових зерен та насіння амаранту. Експериментально доведено, що екстракти із рослинної сировини, отримані з використанням можливостей електромагнітного поля, володіють якісно новими біохімічними, біологічними властивостями в порівнянні з аналогами, що отримані традиційними методами екстрагування [2,3].

Екстрагування рослинних олій є способом безвідходної технології з високим ступенем вилучення – 99%. Рослинні олії є важливим продуктом харчування та сировиною для хімічної, машинобудівної, металургійної промисловості, а також для виготовлення біодизельного пального.

Рослинні олії завдяки наявності жирних кислот, відсутності холестерину мають здатність знижувати ризик виникнення серцево-судинних захворювань. На властивості олій і їх здатність зберігати свої цінні якості впливає багато факторів, в тому числі біологічно активні компоненти. Зокрема, токофероли, які є антиоксидантами, що запобігають й захищають поліненасичені жирні кислоти від окиснюваного псування. Відомо 7 ізомерних форм токоферолів – α , β , γ , σ , ϵ , η , ξ . Найвищу біологічну активність має α -токоферол. Найбільш яскраво виражені антиоксидантні властивості у γ і σ – форм токоферолів.

Ріпакова олія в порівнянні з іншими оліями з точки зору фізіології харчування людини має ряд переваг. Вона містить усі фізіологічно важливі кислоти в оптимальному співвідношенні, а також α і β токофероли.

Із сої виготовляють досить цінну харчову олію, що відноситься до групи лінолево-олеїнових. Досить важливу групу сполук у насінні сої складають фосфатиди, а також токофероли і пігменти. Ці речовини відіграють активну роль в метаболічних процесах, слугують одним з кращих джерел природного антиоксиданту – вітаміну Е. Оскільки насіння сої відносяться до культур олійності яких складає від 14 до 25 %, тому найбільш ефективним способом вилучення олії із даної культури є спосіб прямої екстракції.

Задачі досліджень. Проведення досліджень з екстрагування насіння ріпаку сорту «Чемпіон» та сої сорту «Вінничанка» етиловим спиртом на експериментальній установці з мікрохвильовим інтенсифікатором.

Результати експериментальних досліджень. Після проведення серії дослідів з екстрагування на мікромоделі [4–7] було створено модель більшого масштабу. В даній роботі представлено результати з проведення досліджень процесу екстрагування олієвмісного насіння ріпаку сорту «Чемпіон» (олійність – 43 %) та сої сорту «Вінничанка» (олійність – 21 %) етиловим спиртом за допомогою мікрохвильового інтенсифікатора (рис. 1).

Принцип роботи установки наступний: насіння досліджуваних олієвмісних культур ріпаку та сої подається в штуцер з емністю для наповнення твердою фазою 1, розчинник потрапляє до екстракційної емності 4 через штуцер з емністю для наповнення розчинником 2. Розчинник конденсується у зворотному холодильнику 3. Інтенсифікування екстрагування відбувається в електромагнітному інтенсифікаторі 5.

Під час дослідження за допомогою датчиків знімались показники температури продукту на вході 7 і на виході 8 із мікрохвильового інтенсифікатора, а також температури проміжного теплоносія 6. Характеристики установки під час досліду були наступними (табл. 1).

Замірювання температури датчиків проміжного теплоносія, місцели на вході та на виході із мікрохвильового інтенсифікатора відбувалось з інтервалом у 2 хв. (рис. 2).

Як видно з рисунку температура місцели на виході із МХІ найбільша і під час дослідження її максимальний показник становив 59 °С, на вході максимальна – 56 °С, а температура проміжного теплоносія – не більше 48 °С на час закінчення дослідження.

Під час екстрагування через кожні 7 хв. відбирались проби для визначення концентрації місцели (рис. 3).

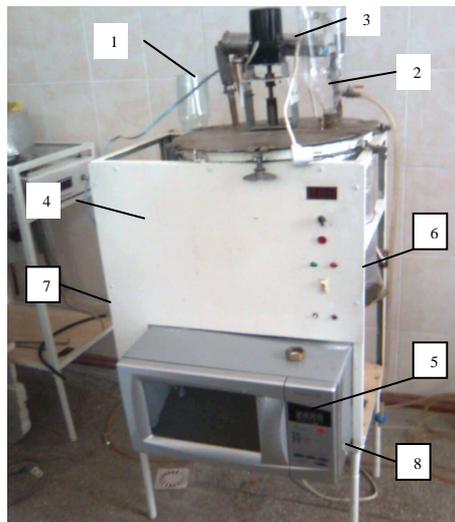


Рисунок 1 – Екстрактор з мікрохвильовим інтенсифікатором (МХІ):

1 – штуцер з ємністю для наповнення екстрактора розчинником; 2 – штуцер з ємністю для наповнення реакційного об'єму твердою фазою; 3 – зворотний холодильник; 4 – екстрактор; 5 – електромагнітний інтенсифікатор; 6 – датчик для вимірювання температури проміжного теплоносія; 7 – датчик для вимірювання температури продукту на вході в МХІ; 8 – датчик для вимірювання температури продукту на виході з МХІ

Таблиця 1 – Характеристики екстрактора з мікрохвильовим інтенсифікатором (МХІ)

Характеристики установки	Кількість
об'єм розчинника (V)	0,008 м ³
маса олієвісного насіння ріпаку (M _{нр})	2 кг
маса олієвісного насіння сої (M _{нс})	2 кг
тривалість екстрагування (τ)	32 хв.
маса виходу ріпакової олії (M _{ор})	0,83 кг
маса виходу соєвої олії (M _{ос})	0,40 кг
потужність МХІ (N)	8 кВт/кг

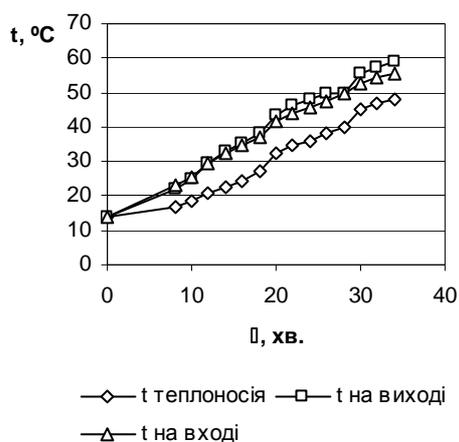


Рисунок 2 – Залежність температури від часу в процесі екстрагування ріпаку та сої етиловим спиртом в екстракторі з МХ інтенсифікатором

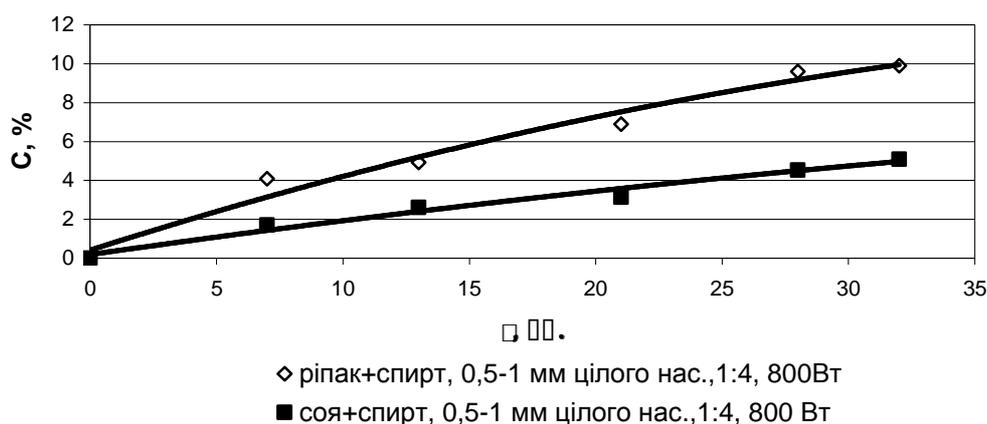


Рисунок 3 – Залежність концентрації від часу у процесі екстрагування ріпакової та соєвої олій спиртом в мікрохвильовому інтенсифікаторі

Фактор інтенсифікації процесу екстрагування сприяє значному (на 97 %) скороченню часу і підвищенню кількості вилученої олії (на 30%) в порівнянні із вилученням цільового компоненту без впливу мікрохвильового поля [4–7].

Як видно з рисунку 3 кінцева концентрація ріпакової олії, що екстрагувалась за допомогою МХІ складала 10,4 %. Вихід екстрагованої ріпакової олії – 0,83 кг з 2 кг завантаженого подрібненого (0,5–1 мм) зерна ріпаку з олійністю зерна – 43 %.

Концентрація соєвої олії на 32 хв. досліді складала 5,0 %, вихід соєвої олії – 0,40 кг з 2 кг подрібненого насіння фракцією 0,5–1 мм, олійністю зерна – 21 %.

Важливим показником отриманих зразків ріпакової та соєвої олій є їх хімічний склад. Дослідження зразків проводилось в лабораторії ПАТ «Вінницький олійножировий комбінат». Зразки повністю відповідали вимогам «ДСТУ 4534:2006 Олія соєва. Технічні умови» та «ДСТУ 46.072:2005 Олія ріпакова. Технічні умови» (табл. 2).

Таблиця 2 – Відповідність досліджуваних зразків олій вимогам державних стандартів України (ДСТУ)

Показники	Ріпакова олія (зразок)	ДСТУ 46.072:2005 Ріпакова олія	Соєва олія	ДСТУ 4534:2006 Олія соєва
Кислотне число, мг КОН/г	3,9	не більше 6,0	4,0	не більше 6,0
Масова частка води та летких речовин, %	0,25	не більше 0,25	0,19	не більше 0,2
Перекисне число, 1/SO ммоль/кг	8,9	не більше 10,0	9,1	не більше 10,0
Масова частка фосфоровмісних речовин в перерахунку на стеароолецитин, %	1,9	не більше 2,0	4	не більше 6,0
Масова частка ерукової кислоти, до суми жирних кислот	0,8	не більше 2,0	-	-

Ефективність використання нестандартного для даного процесу полярного розчинника етилового спирту підтверджено результатами газорідинної хроматографії, які показують, що під дією електромагнітного поля даний розчинник інтенсифікує виділення з насіння ріпаку та сої крім жирних кислот біологічно активних речовин, зокрема токоферолів $C_{20}H_{50}O_2$. Вміст токоферолів у досліджуваних лабораторією ПАТ «Вінницький олійножировий комбінат» зразках олій, що отримали за допомогою мікрохвильового інтенсифікатора в середньому у 2 рази більший ніж у оліях отриманих традиційним методом (табл. 3).

Висновки. Застосування екстрактора з мікрохвильовим інтенсифікатором для екстрагування олій із насіння олійного ріпаку та сої дозволяє в короткий термін (пів години) практично повністю (олій-

ність остаточного шроту в середньому 1 %) вилучити олію. В порівнянні із дослідженнями класичного методу настоювання, який за умовами проведення екстрагування є найбільш подібним до екстрагування в МХІ, час проведення екстрагування зменшується до 70 %, а вихід цільового компоненту збільшується на 30 %.

Крім того, в зразках ріпакової та соєвої олій, отриманої при екстрагуванні за допомогою мікрохвильового інтенсифікатора вихід токоферолів майже в 2 рази більший ніж в аналогах отриманих при екстрагуванні традиційним методом. Це підтверджує, що отримані зразки з використанням можливостей електромагнітного поля, володіють якісно новими біохімічними та біологічними властивостями.

Таблиця 3 – Вміст токоферолів у зразках ріпакової та соєвої олій

Олія	Вміст загальних токоферолів після екстрагування в МХІ, мг%	Вміст загальних токоферолів після класичного екстрагування, мг%	Ізомерні форми, % загального вмісту токоферолів		
			α	β	γ+δ
Ріпакова	92	51	26	74	–
Соєва	301,2	137	12	69	19

Література

1. Бурдо О.Г., Ряшко Г.М. Экстрагирование в системе «кофе-вода». Одесса, 2007. – 176 с.
2. Лукьянчук И.И., Калинин Л.Г., Тучный В.П. // Микроволновые технологии в фармации // В зб. Мікрохвильові технології в народному господарстві. Втілення. Проблеми. Перспективи. – Київ – Одеса: ТЕС. – 2000. – Вип. 2–3. – С. 143–147.
3. Бурдо О.Г., Светлічний П.І., Буйвол С.М. Экстрагування олії з насіння аморанту в електромагнітному полі. // Микроволновые технологии в народном хозяйстве. Внедрение. Проблемы. Перспективы. // – Одесса: ОКФА. – 2009. – 144 с.
4. Бандура В.М., Коляновська Л.М. Інтенсифікація екстрагування рослинних олій електромагнітним полем / В.М. Бандура, Л.М. Коляновська // Зб. наук. пр. Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса: ОНАХТ, – 2011. – Вип. 39. – Том. 2. – С. 186–190.
5. Бандура В.М., Коляновська Л.М., Ружицька Н.В. Інтенсифікація екстрагування в технології виробництва ріпакової олії / В.М. Бандура, Л.М. Коляновська, Н.В. Ружицька // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця: ВНАУ, – 2011. – №1 (61). – С. 98–102.
6. Коляновська Л.М., Бандура В.М. Кінетика екстрагування олії із сої та ріпаку / В.М. Бандура, Л.М. Коляновська // Зб. наук. пр. Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса: ОНАХТ, – 2012. – Вип. 41. – Том. 2. – С. 101–106.
7. Коляновська Л.М., Бандура В.М. Вплив електромагнітного поля на екстрагування олії із насіння сої / Л.М. Коляновська, В.М. Бандура // Зб. наук. пр. Вінницького національного аграрного університету – Вінниця: ВНАУ, – 2012. – Вип. 10, т.1 (58) – С. 137–141.

Bibliography (transliterated)

1. Burdo O.G., Rjashko G.M. Jekstragirovanie v sisteme «kofe-voda». Odessa, 2007. – 176 p.
2. Luk'janchuk I.I., Kalinin L.G., Tuchnyj V.P. Mikrovolnovye tehnologii v farmacii V zb. Mikrohvil'ovi tehnologii v narodnomu gospodarstvi. Vtillennja. Problemi. Perspektivi. – Kiiv – Odessa: TES. – 2000. – Vip. 2–3. – p. 143–147.
3. Burdo O.G., Svetlichnij P.I., Bujvol S.M. Ekstraguvannja olii z nasinnja amorantu v elektromagnit-nomu poli. Mikrovolnovye tehnologii v narodnom hozjajstve. Vnedrenie. Problemy. Perspektivy. – Odessa: OKFA. – 2009. – 144 p.
4. Bandura V.M., Koljanovs'ka L.M. Intensifikacija ekstraguvannja roslinnih oliv elektromagnitnim polem / V.M. Bandura, L.M. Koljanovs'ka Zb. nauk. pr. Odes'koї nacional'noї akademii harchovih tehnologij. – Odesa: ONAHT, – 2011. – Vip. 39. – Tom. 2. – p. 186–190.
5. Bandura V.M., Koljanovs'ka L.M., Ruzhic'ka N.V. Intensifikacija ekstraguvannja v tehnologii virob-nictva ripakovoї olii V.M. Bandura, L.M. Koljanovs'ka, N.V. Ruzhic'ka Vibracii v tehnicі ta tehnologijah. – Vinnicja: VNAU, – 2011. – #1 (61). – p. 98–102.

6. Koljanovs'ka L.M., Bandura V.M. Kinetika ekstraguvannja oliї iz soi ta ripaku V.M. Bandura, L.M. Koljanovs'ka Zb. nauk. pr. Odes'koї nacional'noї akademii harchovih tehnologij. – Odesa: ONAHT, – 2012. – Vip. 41. – Tom. 2. – p. 101–106.

7. Koljanovs'ka L.M., Bandura V.M. Vpliv elektromagnitnogo polja na ekstraguvannja oliї iz nasinnja soi L.M. Koljanovs'ka, V.M. Bandura Zb. nauk. pr. Vinnic'kogo nacional'nogo agrarnogo universitetu – Vinnicja: VNAU, – 2012. – Vip. 10, t.1 (58) – p. 137–141.

УДК 615.012.014

Бандура В.Н., Коляновская Л.Н.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ МАССОПЕРЕНОСА В ЭКСТРАГИРОВАНИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

В статье приведены данные исследования экстрагирования масла из рапса сорта «Чемпион» и сои сорта «Винничанка» растворителем спиртом с помощью микроволнового интенсификатора.

Bandyra V.N., Kolyanovskaya L.N.

INTENSIFICATION MASS TRANSFER IN EXTRACTION VEGETABLE OILS

The article presents research data extracting oil from rapeseed varieties "Champion" and soybean varieties "Vinnichanka" alcohol solvent using microwave intensifiers.

**СИСТЕМА МОНИТОРИНГА АРТИЛЛЕРИЙСКИХ БОЕПРИПАСОВ
И АНАЛИЗ ЕЕ ВОЗМОЖНЫХ СТРУКТУР ПО СТЕПЕНИ РАЦИОНАЛЬНОСТИ**

Основной задачей боевого использования артиллерийского вооружения является нанесение ущерба выбранному объекту противника путем метания боеприпаса в район расположения цели и воздействие по нему поражающим действием снаряда.

В триаде «артиллерийская установка», «приборы управления стрельбой», «боеприпасы» последняя компонента играет особую роль, так как состоит из изделий одноразового использования, которые тратятся в процессе огневого воздействия. Недостаточная точность неуправляемых боеприпасов и ограниченное их могущество, вынуждают решать огневые задачи большим количеством средств поражения, именно поэтому в мирное время создаются значительные по объему запасы артиллерийских выстрелов.

Совокупность химической нестойкости метательных и бризантных взрывчатых веществ, входящих в состав боеприпасов, длительные временные интервалы между их изготовлением и применением, приводят к изменениям технического состояния и, как следствие, боевых свойств боеприпасов. Этот процесс принято называть физическим старением, сопутствующее при этом моральное старение средств поражения выходит за рамки рассматриваемого вопроса и здесь не анализируется.

Следует отметить то, что даже «новые» по календарному сроку эксплуатации артвыстрелы в процессе их боевого применения оказывают негативное влияние на артиллерийскую установку, ухудшая ее баллистические характеристики за счет износа ствола и температурного воздействия на него. Увеличение срока хранения боеприпасов способствует усилению этой негативной тенденции. Таким образом, особенностью систем «боеприпас-артиллерийская установка» и «боеприпас-арсенал» является постепенное изменение технических характеристик и боевых свойств боеприпасов, которые находятся в функциональной зависимости от сроков эксплуатации изделий и условий их хранения.

В период 1937–1994 гг. в Советской армии была сформирована система сбора информации и контроля технического состояния артиллерийских выстрелов [1]. Она включала в себя 12-ть источников, объединенных в пять групп (рис. 1). В первую группу входили мероприятия, связанные с техническими осмотрами (пп. 1–4). Во второй объединялись лабораторные и полигонные испытания (пп. 11, 12). Третью группу составляли элементы централизованного и исследовательского хранения боеприпасов (пп. 8–10). К четвертой и пятой группам относились научно-исследовательские работы и работы связанные с обобщением данных по хранению и результатам практических стрельб.

Мероприятия, приведенные на рис. 1, объединяли усилия войск, эксплуатирующих артбоеприпасы, предприятий по их выпуску и научных организаций, занятых их разработкой. Эта система была сконструирована на обеспечение потребностей вооруженных сил путем отечественного производства боеприпасов всех необходимых номенклатур, осуществления авторского надзора предприятий изготовителей за своей продукцией, организацию своевременной ротации «старых» и «новых» артвыстрелов, интенсивную боевую подготовку, военно-техническое сотрудничество с другими странами.

Современное состояние запасов боеприпасов, находящихся в вооруженных силах Украины характеризуется тем, что:

- практически весь запас артиллерийских выстрелов находится за пределами гарантийного срока их хранения;
- общее количество боеприпасов значительно превышает потребности оборонного ведомства;
- доля боезапаса боевое применение и долговременное хранение, которого запрещено постоянно растет.

Это положение усугубляется отсутствием отечественного производства основных номенклатур артиллерийских выстрелов.

Таким образом, на современном этапе весь запас артбоеприпасов, с целью осуществления его контроля, требует разделения на две части. Первая, так называемая активная часть, объединяет боезапас боевое применение и долговременное хранение, которого разрешено. Этот запас обеспечивает потребности в обороне. Пассивная (избыточная) часть заключает в себе избыточные запасы, запасы боеприпасов, требующие ремонта и утилизации. При этом пассивная часть совокупного боезапаса значительно превышает активную, а процесс старения компонентов боеприпасов еще более усиливает эту диспропорцию, увеличивая объем второй части и сокращая первую. На данный момент сроки, масштаб и способ освежения запасов артбоеприпасов не являлся предметом широкого обсуждения в изданиях, посвященных военной безопасности страны.

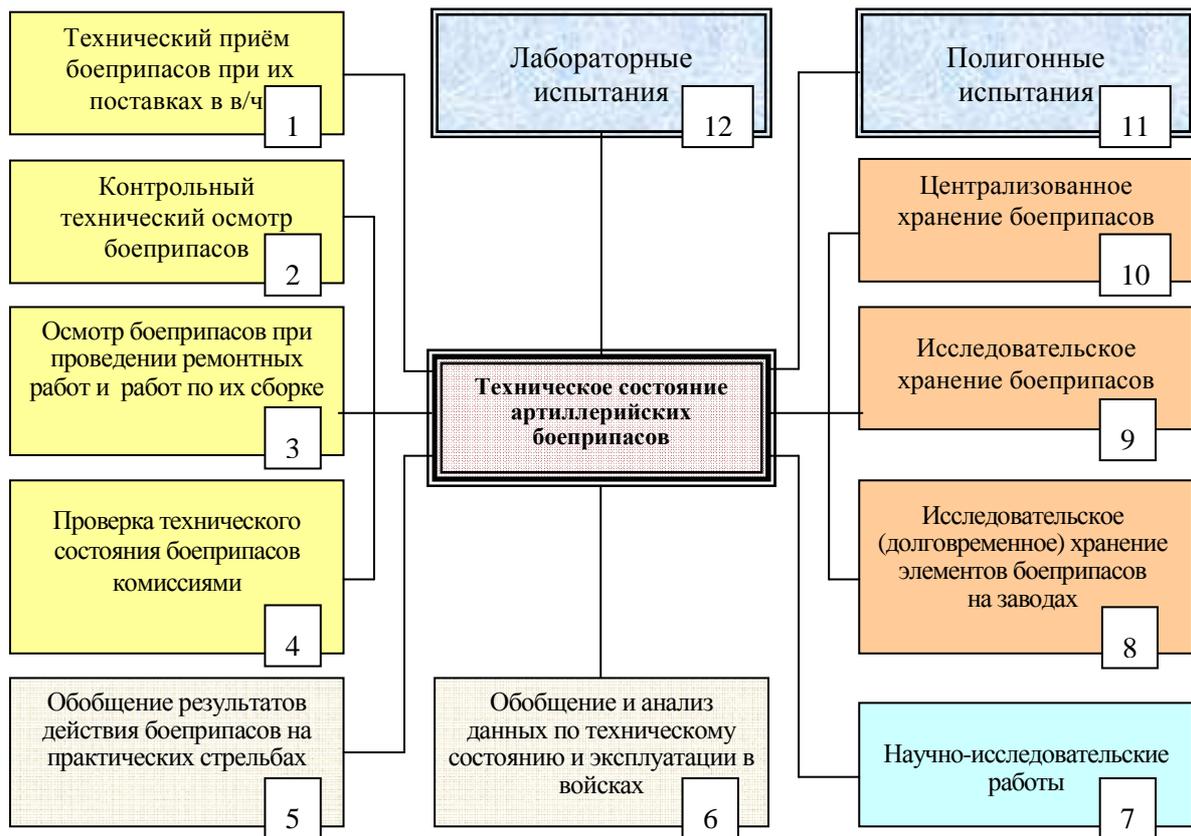


Рисунок 1 – Система контроля технического состояния артбоеприпасов 1937–1994 гг.

В этой обстановке для активной части боезапаса современными доступными средствами периодически должны оцениваться:

- эффективность (действительность) стрельбы;
- безопасность боевого применения артиллерийского вооружения и служебного обращения с артиллерийскими боеприпасами;
- надежность боеприпасов (возможность долговременного хранения).

Сказанное выше необходимо дополнить тем, что система управления запасами боеприпасов должна быть способна анализировать и прогнозировать снижение эффективности их боевого применения за счет геронтологических факторов.

Для пассивной части, которая при значительном увеличении ее объема и невозможности ее уменьшения по причине отложенных сроков утилизации необходима оценка:

- безопасности служебного обращения;
- последствий, связанных с дальнейшим хранением.

Целью работы является исследование рациональных структур построения систем мониторинга артбоеприпасов, функционирующих в интересах обслуживания активной части артбоезапаса, а также определение необходимых инструментальных средств контроля технических характеристик (боевых свойств) боеприпасов.

Обзор доступных литературных источников показал, что несмотря широкомасштабную эксплуатацию вооруженными силами боезапаса, находящегося в послегарантийной стадии, продление сроков его эксплуатации, проблема создания современной системы контроля состояния артвыстрелов и разработки специальных технических средств широко не освещается в отечественной специальной литературе.

Современные формы реализации продления сроков эксплуатации боеприпасов, не предполагают изменения эксплуатационных норм в зависимости от «календарного» срока хранения боеприпасов. При увеличении сроков хранения не изменяется:

- количество отбираемых изделий из контролируемой партии;
- объем контролируемых характеристик;
- периодичность производства контрольных испытаний.

Такое положение в сфере контроля качества средств поражения фактически ставит знак равенства между «старыми» и «новыми» боеприпасами. При назначении объема и глубины контрольных мероприятий нет дифференцирования боеприпасов по типу мест их долговременного хранения. Это, по сути, уравнивает негативное влияние внешней среды, имеющей место на площадке открытого хранения, с влиянием среды внутри хранилища.

Несмотря на военное и техническое сотрудничество со странами НАТО внутри страны не производится освоения и внедрения в практику современных высокоинформативных методик анализа бризантных и метательных веществ, рекомендованных в странах североатлантического альянса, и закреплённых соглашениями по стандартизации (СТАНАГ).

Таким образом, отмеченные выше черты контроля боеприпасов послегарантийных сроков хранения не согласуются с основополагающими принципами науки о старении технических объектов. Отсутствие учета «календарного» срока хранения артиллерийских выстрелов, экстенсивное продление сроков эксплуатации отдельных их типов без качественных изменений структуры и методов установления технического состояния боеприпасов, а также отсутствие четких документов научного, конструкторского и юридического характера по порядку допуска боеприпасов длительных сроков хранения к боевому применению может привести к катастрофическим последствиям не только в местах их хранения, что уже имело место в Украине в период 2003–2008 гг., но также и в боевых частях [2].

В условиях предъявления к системе контроля боеприпасов новых задач, а также в отсутствие собственного производства артиллерийских выстрелов и орудийных стволов, в совокупности с наличием значительного избыточного запаса боеприпасов, калькирование системы 1937–1994 гг. приведет к значительному перерасходу материальных, людских и финансовых ресурсов. К тому же с 1994 г. по настоящее время значительное развитие получили методы и средства неразрушающего контроля, более совершенные методы экспериментальной баллистики и аналитической химии, которые способны повлиять на изменение структуры и принципов построения систем контроля качества артвыстрелов.

Современной тенденцией взаимодействия «эксплуатирующего органа» с «объектом эксплуатации» является переход на ведение мониторинга состояния объекта как более глубокой формы исследования его свойств по сравнению с функцией контроля [3]. Применительно к артиллерийским боеприпасам мониторинг необходимо рассматривать как организационно-техническую систему мероприятий, направленных на выявление совокупности состояний боеприпасов в системах «боеприпас-артиллерийский ствол-боевое применение», «боеприпас-арсенал-долговременное хранение». Результаты мониторинга позволят принимать обоснованные, а, следовательно, объективные решения по дальнейшей эксплуатации боезапаса, приведут к рационализации управления запасами не только артвыстрелов, но и артиллерийских стволов.

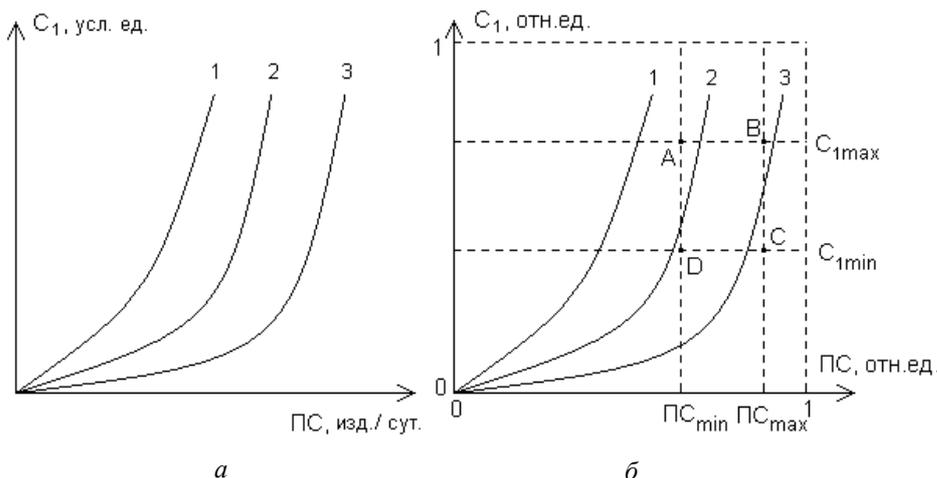


Рисунок 2 – Обоснование показателя рациональности

При обосновании структуры перспективной системы мониторинга боеприпасов представляется рациональным, чтобы она представляла собой компромисс классической организации, состоящей из модуля экспериментального исследования «контроль» и аналитических модулей «анализ» и «прогноз». Важным требованием к системе мониторинга является удельная про-

пускная способность и удельная стоимость диагностических исследований в пересчете на одно изделие.

Рациональность структуры системы мониторинга будем понимать как отношение цены исследования одного образца (C_1), выраженное в условных единицах к ее пропускной способности в режиме «контроль» (изделий за сутки). В этом случае возможные структуры системы могут быть выражены семейством кривых. На рис. 2 а изображены кривые 1–3, характеризующие увеличение стоимости исследования

боеприпасов при увеличении пропускной способности. Переходя от абсолютных единиц стоимости (пропускной способности) к относительным и задаваясь допустимыми диапазонами стоимости измерений и пропускной способности, найдем область рациональных решений в виде прямоугольника ABCD рис. 2 б (структура 1 не является рациональным решением).

Структура мониторинга артбоеприпасов на основе последовательного проведения лабораторных и полигонных испытаний. Обобщая передовой иностранный опыт в сфере контроля качества боеприпасов, на рис. 3 предложена структура системы мониторинга активной части боезапаса, осуществляемого в интересах его боевого применения.

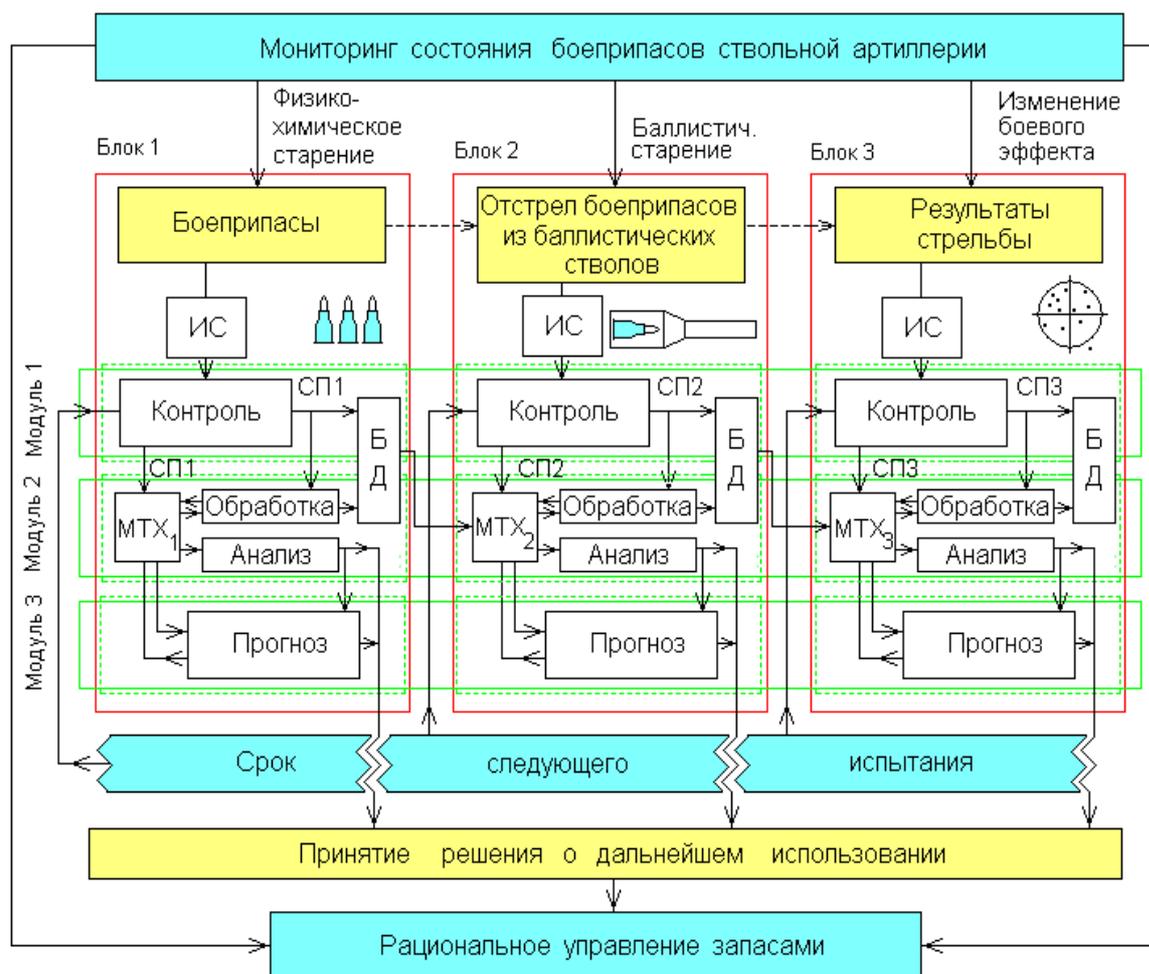


Рисунок 3 – Система мониторинга артбоеприпасов в виде совокупности трех экспериментальных методов контроля

Она состоит из трех блоков, каждый из которых включает в себя 3 модуля, поэтому общее количество операционных модулей равно 9. В состав системы входят:

- блок 1 – блок мониторинга параметров физико-химических характеристик боеприпасов (блок старения артвыстрелов);
- блок 2 – блок мониторинга баллистического старения на основе баллистических испытаний боеприпасов с использованием баллистических стволов;
- блок 3 – блок обобщения результатов стрельб (блок деградации боевого эффекта).

Для унификации процедур каждый из блоков разделен на модули с унифицированными названиями «контроль», «анализ», «прогноз». Ниже сформулируем их цели.

Блок 1. В модуле *контроль* блока «боеприпасы» при проведении инструментальными средствами (ИС) физико-химических испытаний (ФХИ) порохов могут быть определены 6 групп параметров (табл. 1 пп 1.1–1.6).

Таблиця 1 – Группы параметров трех модулей «контроль»

Блок «боеприпасы»	Блок «отстрел боеприпасов»	Блок «результаты стрельбы»
<p>1.1. Геометрические размеры порохового элемента: – толщина горящего свода; – наружный диаметр; – диаметр канала; – длина порохового элемента.</p> <p>1.2. Массовые характеристики порохового заряда: – масса пороховой навески; – масса воспламенителя; – масса размеднителя; – масса флегматизатора.</p> <p>1.3. Массовые характеристики снаряда: – масса артиллерийского снаряда; – масса снаряжения (разрывного заряда); – масса взрывателя; – масса трассера.</p> <p>1.4. Физико-химические характеристики пороховой массы: – процентное содержание азота; – процентное содержание стабилизатора химической стойкости (дифениламина); – процентное содержание флегматизатора (канифоли); – процентное содержание графита; – процентное содержание летучих веществ (общее, удаляемые, неудаляемые); – плотность пороховой массы порохового элемента; – процентное содержание мелочи (крупноты). – пористость пороховой массы; – теплота взрывчатого превращения.</p> <p>1.5. Характеристики параметров заряжания: – плотность заряжания; – гравиметрическая плотность пороха; – величина предельной вместимости в гильзе; – усилие на распатронирование (унитарный патрон).</p> <p>1.6. Параметры физико-химическая стойкости пороха: – лакмусовая проба (первичная, повторная) или иные виды проб на химическую стойкость.</p>	<p>2.1. Начальная скорость: – дульная скорость; – скорость на расстоянии a метров; – изменение скорости на фиксированном отрезке траектории.</p> <p>2.2. Срединное (вероятное) отклонение начальной скорости.</p> <p>2.3. Температура порохового заряда.</p> <p>2.4. Крешерное (пьезометрическое) значение давления пороховых газов в канале ствола: – максимальное; – минимальное; – среднее.</p> <p>2.5. Баллистическое время выстрела.</p>	<p>3.1. Срединное отклонение точки попадания: – по высоте; – по уходу в бок.</p> <p>3.2. Правильность формы пробойны при пробивании мишени.</p> <p>3.3. Контроль правильности функционирования трассера.</p> <p>3.4. Контроль правильности функционирования самоликвидатора.</p>
6 групп параметров (26 характеристик)	5 групп параметров (9 характеристик)	4 группы параметров (5 характеристик)

К первой группе (п. 1.1) относятся геометрические размеры порохового элемента, которые включают: толщину его горящего свода; наружный диаметр; диаметр канала (каналов при многоканальном перфорировании); длину порохового элемента. Если пороховой заряд является комбинированным и состоит из нескольких типов пороха, фиксируются геометрические размеры каждого из порохов сложной смеси.

Во вторую группу (п. 1.2) входят массовые характеристики порохового заряда, а именно: фактическая масса пороховой навески; масса воспламенителя; масса размеднителя; масса флегматизатора. Массовые характеристики снаряда и его элементов (п. 1.3) составляют третью группу параметров.

Физико-химические характеристики пороховой массы такие как: содержание связанного азота, стабилизатора химической стойкости (дифениламина), флегматизатора (канифоли), графита, летучих веществ (общее, удаляемое, неудаляемое), относится к четвертой группе (п. 1.4).

Далее следует определение плотности пороховой массы порохового элемента и гравиметрической плотности пороха, а также величина предельной вместимости пороха в гильзе, процентное содержание мелочи (крупноты), пористость пороха, теплота взрывчатого превращения, физико-химическая стойкость (лакмусовая проба (первичная, повторная) или иные виды проб), усилие на распатронирование унитарного патрона.

Таким образом, при проведении ФХИ порохов могут быть определены 26 объективных характеристик, значения которых накапливаются и объединяются в базе данных (БД).

Целью модуля *анализ* блока «боеприпасы» является решение четырех задач. Первая из них заключается в обработке данных модуля контроля для приведения характеристик к стандартному виду. При этом выполняются процедуры обработки экспериментальных данных и пересчета полученных результатов в систему СИ. Как и на предыдущем шаге, полученная информация заносится в базу данных. По накопленной информации строится модель трансформации характеристик (МТХ), которая характеризует боеприпас в каждый момент времени эксплуатационного этапа жизненного цикла. Создание МТХ является второй задачей этого модуля.

Опыт показывает, что МТХ представляет собой совокупность n эмпирических функциональных зависимостей изменения контролируемых характеристик от календарного срока эксплуатации (τ) или от времени хранения, при заданных условиях хранения.

При этих условиях МТХ примет вид:

$$\left. \begin{array}{l} \delta_1 = f_1(\tau) \\ \delta_2 = f_2(\tau) \\ \dots \\ \delta_i = f_i(\tau) \\ \dots \\ \delta_n = f_n(\tau) \end{array} \right\},$$

где δ_i – контролируемый параметр (характеристика); τ – календарный срок эксплуатации (хранения) боеприпаса; i – порядковый номер характеристики (параметра) в перечне контролируемых величин, например табл. 1.

Внутри модулей «анализ» блоков «боеприпасы», «отстрел боеприпасов», «результаты стрельбы» разрабатываются свои собственные МТХ, поэтому имеют место МТХ₁, МТХ₂, МТХ₃ (физико-химического состояния – МТХ₁, баллистических качеств – МТХ₂ и эффективности стрельбы – МТХ₃). Введение основного аргумента τ в виде календарного срока эксплуатации (хранения) боеприпаса определяется следующим:

- процессы молекулярной диффузии и массопереноса приводят к микроизменениям структуры пороховой массы пороховых элементов, т.е. физико-химическим изменениям пороха;
- физико-химические трансформации влияют на баллистические характеристики единичного выстрела и температурные режимы стрельбы;
- изменение баллистики орудия приводит к изменению рассеивания снарядов.

Дополнительным фактором, усложняющим описание выше перечисленных процессов, является уменьшающаяся живучесть артиллерийского ствола.

В качестве примера частной функции МТХ₁ может быть рассмотрена зависимость теплоты взрывчатого превращения от времени хранения или процентное содержание стабилизатора химической стойкости (дифениламина) как функция «возраста» боеприпаса. С учетом табл. 1 путем сбора и обработки экспериментальных данных могут быть определены 26 эмпирических кривых, которые будут иметь разную степень влияния на конечный результат – боевой эффект, а, следовательно, разную информативность.

МТХ₁ позволяет при наличии исходных данных (блока контроля), т.е. совокупности параметров определять нахождение параметра, а, следовательно, исследуемого боеприпаса на так называемой кривой «эксплуатационного цикла». Далее при получении совокупности параметров блока контроля и с исполь-

зованием MTX_1 осуществляется оценка физико-химического «возраста» боеприпаса, а и его ожидаемые технические характеристики для рассматриваемого временного интервала. Выполнение этих операций составляет третью задачу модуля контроля блока «боеприпасы».

Зависимости для каждого из рассматриваемых частных параметров (характеристик) могут быть простыми если кроме календарного срока хранения (τ) остальные элементы СП не влияют на результат и сложными, если установлено дополнительное влияние другого параметра. Например, в MTX_2 начальная скорость снаряда зависит как от его календарного срока хранения (τ) так и от настрела орудия и от температуры заряда, то есть является сложной.

Простые и сложные зависимости параметров MTX от времени и других аргументов должны проверяться на адекватность и корректироваться, т.к. они могут видоизменяться. Видоизменения зависимостей могут проходить при скачкообразных (стрессовых) изменениях внешней среды. В этой ситуации возникает необходимость коррекции частной функции MTX $\delta_i=f_i(\tau)$ и ее замене на $\delta_i=f_i^*(\tau)$. Контроль адекватности MTX является четвертой задачей модуля анализа. Проверка адекватности MTX осуществляется сравнением физико-химических характеристик, полученных на основе MTX и после операции «обработка».

Далее при экстраполяции временного интервала на заданную временную перспективу прогнозируется изменение физико-химических свойств боеприпаса для модельного времени. Эти действия производятся в модуле 3 «прогноз». С течением времени выданные прогнозные характеристики боеприпаса сравниваются с фактическими данными, полученными в модуле «контроль» (после операции обработка). Такие взаимоотношения модулей «анализ» и «прогноз» используется для дополнительной проверки адекватности MTX .

Обработка данные модулей «анализ» и «прогноз» позволяют обосновать срок следующего испытания боеприпаса.

Блок 2. В модуле контроль блока «отстрел боеприпасов» при проведении инструментальными средствами контроля процесса выстрела могут быть определены 9-ть характеристик, упорядоченных в 5-ть групп параметров. К ним относятся: скорость на дульном срезе, скорость на расстоянии a метров от ствола (например, v_{10}); изменение скорости на фиксированном отрезке траектории; срединное отклонение начальной скорости (r_v); температура порохового заряда перед выстрелом; крешерное давление пороховых газов в канале ствола (максимальное, минимальное, среднее); баллистическое время выстрела.

В модуле «анализ» блока «отстрел боеприпаса» вырабатывается MTX_2 изменение начальной скорости и величины давления пороховых газов как функция «возраста» боеприпаса, при этом влияние износа ствола определяется с использованием аппаратуры и методик лазерного сканирования его поверхности. Скорость снаряда при вылете может определяться радиолокационным, хронометрическим, фотографическим методом, а величину давления в канале ствола контролируют вкладными крешерами или пьезометрическим методом.

Одним из важных показателей выстрела является температурное состояние ствола в процессе стрельбы. Один из способов его определения заключается в контроле изменения температуры ствола в различных его точках в процессе выстрела и периода последействия газов. С использованием MTX_2 оценивается баллистический «возраст» боеприпаса, а и его ожидаемые баллистические характеристики для рассматриваемого состояния.

Как и для блока «боеприпасы» модуль «прогноз» блока «отстрел боеприпасов» предназначен для прогнозирования баллистических характеристик боеприпасов на перспективу.

Блок 3. Стрельба, выполняемая в условиях артиллерийского полигона с использованием подготовленной трассы минимизируют влияние внешних метеорологических факторов и условия такой стрельбы можно приблизить к табличным. В этих условиях усилия третьего блока «результаты стрельбы» направлены на изучение законов рассеяния попаданий в выбранные мишени, то есть на оценку боевой эффективности стрельбы.

В модуле «контроль» блока «результаты стрельбы» определяются четыре параметра. К ним относятся: срединное (вероятные) отклонение точки попадания (по высоте и при уходе в бок); правильность формы пробоины при пробивании мишени; контроль правильности и время функционирования трассера; контроль правильности функционирования самоликвидатора артиллерийского снаряда.

Из всех выше перечисленных параметров наиболее информативными являются значения срединных (вероятных) отклонений точек попадания (по высоте и при уходе в бок), так как они позволяют оценить параметры эллипса рассеивания, то есть эффективность стрельбы.

В модуле «анализ» блока «результаты стрельбы» определяется MTX_3 изменения параметров единичного эллипса рассеивания на заданной дистанции стрельбы от календарного срока хранения артиллерий-

ских боеприпасов. С использованием МТХ₃ определяется снижение эффективности стрельбы при «замораживании» параметра износа канала ствола и отклонений от табличных условий стрельбы.

Модуль «прогноз» производится экстраполяция данных на заданный временной интервал в будущем. Снижение эффективности боевого применения артбоеприпаса ниже порогового значения свидетельствует о непригодности для решения задачи огневого воздействия, следовательно, влечет за собой необходимость проведения ротации (освежения) запасов боеприпасов.

При выработке МТХ₂ блока «отстрел боеприпасов» могут быть использованы базы данных блока «боеприпасы». Аналогично МТХ₃ блока «результаты стрельбы» может использовать базы данных блока «отстрел боеприпасов».

Критически оценивая возможности реализации системы мониторинга в варианте «А» следует отметить, что методики проведения физико-химических и баллистических испытаний, и используемое при этом лабораторное оборудование, необходимость высококвалифицированного персонала определяют их низкую (для массовых исследований) пропускную способность, при этом невозможность определения характеристик боеприпаса без его разрушения ограничивают их возможности. Однако отсутствие отечественного производства лабораторного оборудования, например, скоростных и крешерных баллистических стволов, крешерных приборов, аппаратуры измерения начальных скоростей снарядов, а также отсутствие полигонов, имеющих подготовленные баллистические трассы, ставит под сомнение полномасштабное развертывание системы рис. 3. К тому требованию увеличения количества контролируемых параметров при значительных запасах артиллерийских боеприпасов, имеющих значительный средний «возраст» усиливают требование оперативности и пропускной способности системы, которые не может быть обеспечены современными методиками проверки порохов на химическую стойкость. Длительность проведения испытаний на лакмусовую пробу составляет примерно сутки. В рамках системы рис. 2 остается открытым вопрос об объеме выборки боеприпасов из партии, подвергаемой исследованию. Ее увеличение с одной стороны отвечает критерию глубины и достоверности исследования процесса изменения свойств, а с другой приводит к уменьшению пропускной способности системы мониторинга в пересчете на валовую партию.

В условиях наличия боезапаса со стопроцентным выходом за пределы гарантийных сроков эксплуатации, неопределенностью в сроках его освежения, увеличения количества партий с небольшим объемом боеприпасов, а также количества боеприпасов, один или несколько раз побывавших в войсках требование 100 % дострельбового исследования будет возрастать.

Разрешение противоречия между увеличением количества боеприпасов требующих проведения исследований и недостаточной пропускной способностью современных методик испытаний ставит задачу перехода к средствам неразрушающего контроля в совокупности с аналитическими методами обработки данных.

Перспективная система мониторинга артбоеприпасов на основе методов неразрушающего контроля. Для повышения пропускной способности системы мониторинга и минимизации финансовых затрат на ее содержание более прагматичной является схема, имеющая в своем составе минимум дорогостоящих и трудозатратных экспериментальных процедур, которые осуществляются силами и средствами специализированных лабораторий (полигонов). С точки зрения минимизация объема экспериментальных исследований должна проводиться по пути поиска наиболее чувствительных к старению характеристик артиллерийских выстрелов.

В качестве таковой предлагается использовать плотность пороховой массы порохового элемента. Именно она влияет на закон горения, содержание летучих компонентов, величину максимального давления и координаты пика максимального давления на пиродинамической кривой. Собственно от плотности зависит начальная скорость снаряда – определяющая величина таблиц стрельбы и его внешней баллистики. Основным экспериментальным методом измерения плотности пороха выступит метод рентгеновской компьютерной томографии, позволяющей определять плотность пороха без разрушения исследуемого объекта – боеприпаса. Особенно благоприятные условия проведения эксперимента складываются для танковых боеприпасов раздельно-гильзового заряжания, так как материал их гильз состоит из целлюлозного, пропитанного пироксилином полотна, сгорающего при выстреле. Учет износа канала ствола осуществляется с использованием современных методов лазерного сканирования поверхности ствола, позволяющих определять износ в пределах 5–10 мкм. Это позволяет отслеживать величину геометрических изменений практически после каждого выстрела без ожидания накопления износа за 10–50 выстрелов. Структура системы мониторинга основанная на экспресс методах оценивания и включающая блоки аналитической обработки представлена на рис. 4.

Аналогично системе мониторинга (рис. 3), перспективная система (рис. 4) состоит из трех модулей «контроль», «анализ» и «прогноз».

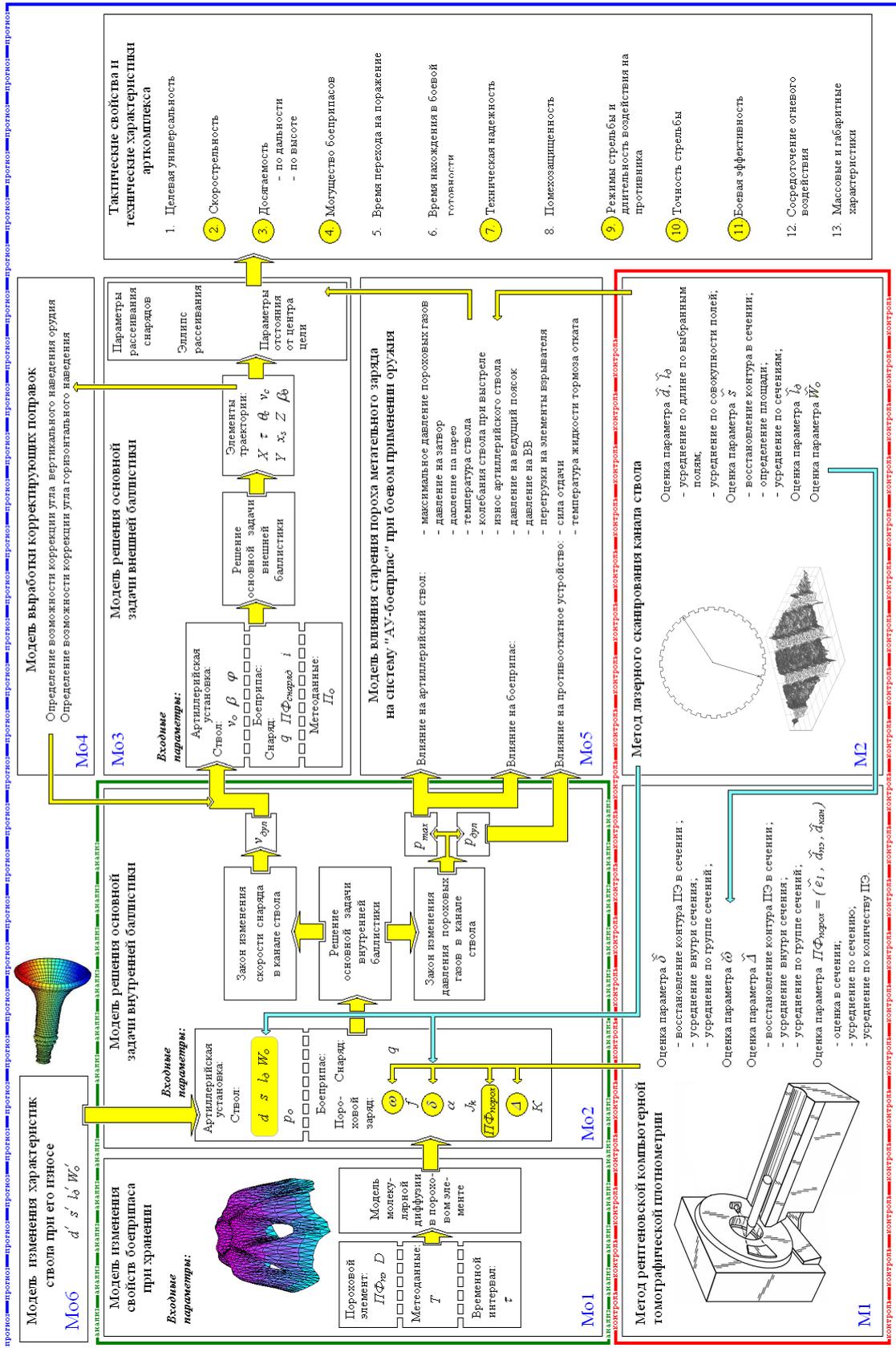


Рисунок 4 – Перспективная система мониторинга артиллерийских боеприпасов

Модуль контролю (рис. 4) реалізує два експериментальних метода:

- метод рентгеновської комп'ютерної томографічної щільності (M1);
- метод лазерного сканування каналу ствола (M2).

Розподіл методів і моделей між модулями перспективної системи моніторингу (рис. 4) приведено на рис. 5.

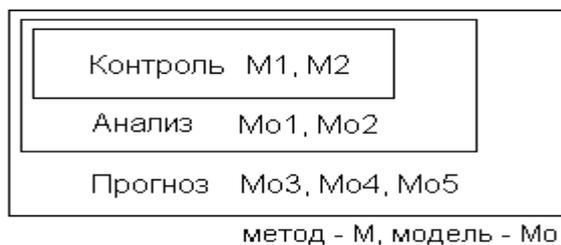


Рисунок 5 – Розподіл методів і моделей між модулями перспективної системи моніторингу

Методи M1, M2 здійснюють високоточні, оперативні дослідження щільності пороха і стану каналу ствола, а апаратура, що реалізує ці методики, відповідає вимогам мобільності. Методика проведення рентгеновської комп'ютерної томографічної щільності (РКТЩ) описана в [4-8]. С її допомогою для порохового металевого заряду оцінюється щільність порохової маси (δ) і далі його маса. Додатковим перевагою РКТЩ є здатність невідрушуючого контролю параметрів форми порохових елементів. Спільне використання РКТЩ з лазерним скануванням каналу ствола дозволяє оцінити величину щільності заряду.

Спільне використання РКТЩ з лазерним скануванням каналу ствола дозволяє оцінити величину щільності заряду.

Основою модуля аналізу є дві аналітичні моделі:

- модель зміни властивостей боєприпасу при зберіганні (Mo1);
- модель рішення основної задачі внутрішньої балістики (Mo2).

Модель Mo1 порівнюється з МТХ₁ системи моніторингу рис. 3.

При спільному виконанні операцій M1 і Mo1 відбувається налаштування параметрів форми порохового елемента (ПФ) і коефіцієнта молекулярної дифузії порохової маси (D). При оцінці параметрів форми визначаються середній зовнішній і внутрішній діаметри порохового елемента, нерівностенність, і середнє значення величини горящого своду.

Для визначення внутрішньобалістичних характеристик використовується модель рішення основної задачі внутрішньої балістики, в якій вихідними параметрами є 14 характеристик. З них 5-ть характеризують артилерійський ствол, 6-ть пороховий заряд і одна – артилерійський снаряд.

З цього числа 8 параметрів (57 %) визначаються з використанням M1, M2 і Mo1, а інші 6 (43 %) утворюються при аналітичних розрахунках. При рішенні основної задачі внутрішньої балістики отримуємо оціночні значення балістичних параметрів системи «боєприпас – артилерійська установка»:

- початкову швидкість;
- максимальне тиск порохових газів в каналі ствола;
- тиск порохових газів на дульному срезі.

Модель Mo2 порівнюється з МТХ₂ системи моніторингу рис. 3.

Використання оціненого значення початкової швидкості, введеного в модель рішення основної задачі зовнішньої балістики (Mo3) дозволяє розрахувати елементи траєкторії боєприпасу (параметри розсіювання артснаряду). Використання моделі виробки коректуючих поправок в кути горизонтального і вертикального відхилення ствола (Mo4) показує, чи можливо отримати рішення задачі вогневого впливу з заданою ефективністю за рахунок корекції вихідних і виробки нових кутів горизонтального і вертикального наведення при досягненні виможуваної розрахункової траєкторії польоту.

Модель Mo3 порівнюється з МТХ₃ системи моніторингу рис. 3.

Розраховані в Mo2 значення максимального і «дульного» тисків порохових газів є вхідними елементами моделі впливу старіння пороха металевого заряду на систему «АУ-боєприпас» при бойовому використанні зброї. Негативний вплив старіння пороха металевого заряду на артилерійську установку оцінюється в Mo5. Основними напрямками такої оцінки є три.

Перше, вплив на артилерійський ствол, враховує збільшення максимального тиску порохових газів, тиск на затвор і на різь частини ствола. Додатково оцінюється вплив підвищення тиску на знос артилерійського ствола і його коливання при вистрелі.

Вторым направлением отрицательного влияния повышение давления является влияние на боеприпас. Оно проявляется посредством избыточного давления на ведущий поясок, повышением давления на снаряжение (бризантное взрывчатое вещество) и перегрузками элементов взрывателя.

В третьем блоке проводится анализ влияния изменившихся баллистических характеристик выстрела на противооткатное устройство.

Этап прогнозирования в перспективной системе мониторинга (рис. 4) осуществляется при экстраполяции временного интервала (τ) Мо1 на заданную временную перспективу. Такая экстраполяция вызовет изменения во всех последующих моделях от Мо2 до Мо6. Эти изменения необходимо оценить с точки зрения невыхода параметров за граничные значения. В дополнение к этому совокупное действие моделей Мо1–Мо5 позволяет определить тенденции изменения тактических свойств и технических характеристик арткомплекса. Предварительные оценки показывают, что из 13-ти основных свойств арткомплекса при геронтологическом изменении взрывчатых веществ боеприпаса ухудшаются более половины (54 %).

Критически оценивая перспективную систему мониторинга (рис. 4), следует отметить то, что широкие возможности анализа и прогноза поведения боеприпасов при старении взрывчатых веществ, предоставляемые ею, будут зависеть от эмпирических коэффициентов согласования экспериментальных и аналитических данных, необходимых для корректного функционирования моделей решения задач внутренней и внешней баллистики. Это в свою очередь потребует частичного воспроизведения системы рис. 3.

Авторам представляется, что наиболее рациональным сочетанием экспериментальных и аналитических методов в структуре системы мониторинга может быть достигнуто при непосредственной оценке влияния изменения плотности пороха на начальную скорость снаряда и на максимальное давление пороховых газов в канале ствола.

В виду того, что плотность пороха является функцией времени хранения, переход от временных зависимостей «начальная скорость снаряда» – «срок хранения» и «максимальное давление» – «срок хранения» к функциям «начальная скорость снаряда» – «плотность пороха» («максимальное давление» – «плотность пороха») при оценке плотности пороха томографическими методами закладывает основы создания экспресс-метода оценки качества артиллерийских боеприпасов.

Выводы

1. При современном состоянии запасов артиллерийских боеприпасов необходим переход от системы контроля их состояния к системе мониторинга.
2. Структура системы мониторинга боеприпасов должна отвечать рациональному сочетанию экспериментальных и аналитических модулей, что обеспечит ее высокую пропускную способность и минимизацию финансовых затрат на производство одного исследования.
3. В современных условиях система мониторинга боеприпасов должна основываться на экспресс-методах неразрушающего контроля.

Литература

1. Боеприпасы морской артиллерии. Инструкция по контролю технического состояния. – М.: Воениздат. 1975. – 90 с.
2. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Дефекты производства и процессы старения взрывчатых веществ как основные факторы возможного ненормального действия артиллерийских боеприпасов // Интегрированные технологии и энергосбережение. №2, 2011. – с. 80–95.
3. Анипко О.Б., Тараненко С.В., Хайков В.Л. Система мониторинга пороховых зарядов боеприпасов корабельной артиллерии // Збірник наукових праць академії військово-морських сил ім. П.С. Нахімова. №4(4), 2010. – с. 11–18.
4. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Экспресс плотнометрия метательных зарядов корабельных артиллерийских боеприпасов // Интегрированные технологии и энергосбережение. №1, 2011. – с. 46–57.
5. Хайков В.Л. Возможности радиационных методов неразрушающего контроля для повышения эффективности диагностики технического состояния артиллерийских боеприпасов // Збірник наукових праць академії військово-морських сил ім. П.С. Нахімова. №1(5), 2011. – с. 26–36.

6. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Анализ методов оценки состояния пороховых зарядов как элемент системы мониторинга артиллерийских боеприпасов // Интегрированные технологии и энергосбережение. №3, 2012. – с. 60–71.

7. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Экспресс-метод оценки состояния пороховых метательных зарядов для аналитического модуля системы мониторинга боеприпасов // Збірник наукових праць академії військово-морських сил ім. П.С. Нахімова. №2(10), 2012. – с. 6–18.

8. Анипко О.Б., Хайков В.Л. Метод рентгеновской компьютерной томографической плотнометрии взрывчатых веществ артиллерийских боеприпасов // Интегрированные технологии и энергосбережение. №4, 2012. – с. 68–75.

Bibliography (transliterated)

1. Boepriпасy morskoj artillerii. Instrukcija po kontrolju tehničeskogo sostojanija. – М.: Voeniz-dat. 1975. – 90 p.

2. Anipko O.B., Hajkov V.L. Defekty proizvodstva i processy starenija vzryvchatyh veshhestv kak osnovnye faktory vozmožnogo nenormal'nogo dejstvija artillerijskih boepriпасov Integrirovannye tehnologii i jenergosbereženie. #2, 2011. – p. 80–95.

3. Anipko O.B., Taranenko S.V., Hajkov V.L. Sistema monitoringa porohovyh zarjadov boepriпасov korabel'noj artillerii Zbirnik naukovih prac' akademii vijs'kovo-mors'kih sil im. P.S. Nahimova. #4(4), 2010. – p. 11–18.

4. Anipko O.B., Hajkov V.L. Jekspress plotnometrija metatel'nyh zarjadov korabel'nyh artillerijskih boepriпасov Integrirovannye tehnologii i jenergosbereženie. #1, 2011. – p. 46–57.

5. Hajkov V.L. Vozmožnosti radiacionnyh metodov nerazrushajushhego kontrolja dlja povyšhenija ob'ektivnosti diagnostiki tehničeskogo sostojanija artillerijskih boepriпасov Zbirnik naukovih prac' akademii vijs'kovo-mors'kih sil im. P.S. Nahimova. #1(5), 2011. – p. 26–36.

6. Anipko O.B., Hajkov V.L. Analiz metodov ocenki sostojanija porohovyh zarjadov kak jelement sistemy monitoringa artillerijskih boepriпасov Integrirovannye tehnologii i jenergosbereženie. #3, 2012. – p. 60–71.

7. Anipko O.B., Hajkov V.L. Jekspress-metod ocenki sostojanija porohovyh metatel'nyh zarjadov dlja analityčeskogo modulja sistemy monitoringa boepriпасov Zbirnik naukovih prac' akademii vijs'kovo-mors'kih sil im. P.S. Nahimova. #2(10), 2012. – p. 6–18.

8. Anipko O.B., Hajkov V.L. Metod rentgenovskoj komp'juternoj tomograficheskoj plotnometrii vzryvchatyh veshhestv artillerijskih boepriпасov Integrirovannye tehnologii i jenergosbereženie. #4, 2012. – p. 68–75.

УДК 623.451.4

Аніпко О.Б., Хайков В.Л.

**СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ БОЄПРИПАСІВ
ТА АНАЛІЗ ЇЇ МОЖЛИВИХ СТРУКТУР ПО СТУПЕНЮ РАЦІОНАЛЬНОСТІ**

Для сучасного стану запасів артилерійських пострілів обґрунтована необхідність переходу до системи їх моніторингу. Наведено аналіз структур моніторингу за ступенем їх раціональності.

Anipko O.B., Khaykov V.L.

**ARTILLERY AMMUNITION MONITORING SYSTEM AND ANALYSIS OF ITS POSSIBLE
STRUCTURES ON THE DEGREE OF RATIONALITY**

For current state of artillery ammunition stocks necessity of transition to monitor their condition is proved. The analysis of the monitoring system structures of according to their rationality is performed.

ПОЗИЦИИ КИТАЯ НА РЫНКЕ БРОНЕТЕХНИКИ РАЗВИВАЮЩИХСЯ СТРАН

В последнее десятилетие Китай стабильно развивает свой военно-промышленный комплекс и активизирует свое присутствие на мировом рынке вооружений, причем если еще несколько лет назад он был одним из самых крупных импортеров, то в последнее время он все сильнее заявляет о себе как об одном из крупнейших экспортеров. Как свидетельствуют данные Стокгольмского международного института исследований проблем мира (СИПРИ), если в 2010 году Китай занял среди ведущих стран-экспортеров основных видов вооружений шестое место (на него приходилось 4 % мирового экспорта таких вооружений) [13], то в 2012 году он вышел уже на пятое место, и на него приходилось 5 % мирового экспорта оружия [18]. По данным другого исследовательского центра – Исследовательской службы Конгресса США – Китай еще в 2010 году занял среди ведущих стран-экспортеров основных видов вооружений пятое место, и на него приходилось 6,29 % мирового экспорта таких вооружений [11]. При этом по поставкам развивающимся странам Китай занимал в 2010 году третье место в мире, на него приходилось 10,05% мирового экспорта вооружений в эти страны [11].

Китаю удалось попасть в число основных экспортеров вооружений в 1980-е годы во время ирано-иракской войны, когда другие страны отказались поставлять оружие участникам конфликта, а Китай открыто выразил желание продавать оружие и Ираку, и Ирану в любых количествах и без каких-либо ограничений. После завершения данной войны Китай регулярно добивался заключения контрактов на поставку вооружений в различные развивающиеся страны [11]. Хотя первоначально к китайской военной технике относились в мире настороженно и считали ее «испорченной советской техникой», постепенно она начала пользоваться спросом в азиатских и африканских государствах и даже появилась в Европе [1]. В результате этого роль Китая в мировых поставках вооружений в последнее десятилетие преимущественно возрастала (рис. 1).

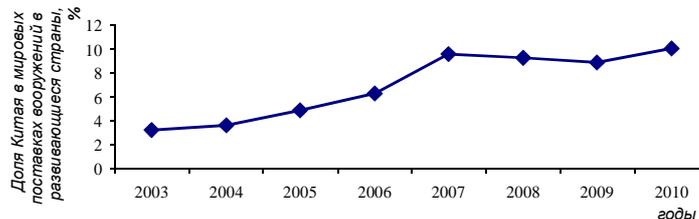


Рисунок 1 – Динамика доли Китая в мировых поставках вооружений в 2003-2010 гг. (по данным доклада Исследовательской службы Конгресса США за 2011 г. [11])

Еще более значительных успехов Китай добился в поставках вооружений в развивающиеся страны (рис. 2).

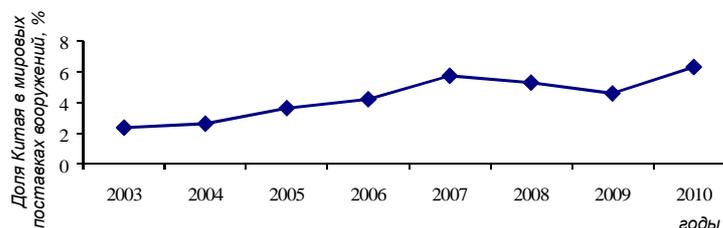


Рисунок 2 – Динамика доли Китая в мировых поставках вооружений в развивающиеся страны в 2003–2010 гг. (по данным доклада Исследовательской службы Конгресса США за 2011 г. [11])

Одним из направлений экспортных усилий Китая применительно к развивающимся странам является поставка в эти страны бронетехники – как тяжелой (танки и самоходные орудия), так и легкой (бронетранспортеры и бронированные автомобили). Общая тенденция в последние несколько лет на данном рынке – небольшое повышение объема поставок после их резкого спада (рис. 3).

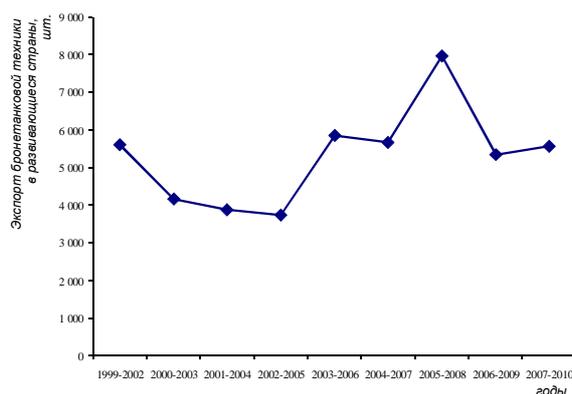


Рисунок 3 – Динаміка загального експорту бронетехніки в розвиваючі країни в 1997–2010 гг. (по докладам Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [3], 2004-й [4], 2005-й [5], 2006-й [6], 2007-й [7], 2008-й [8], 2009-й [9], 2010-й [10] і 2011-й [11] роки)

Однако, если разбить данные поставки на две основные категории бронетехники (тяжелая и легкая), то выяснится, что объемы общемировых поставок бронетранспортеров и бронированных автомобилей развивающимся странам в последние несколько лет уменьшались, а танков и самоходных орудий – увеличивались (рис. 4).



Рисунок 4 – Динаміка загального експорту важкої та легкої бронетехніки в розвиваючі країни в 1997–2010 гг. (по докладам Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [3], 2004-й [4], 2005-й [5], 2006-й [6], 2007-й [7], 2008-й [8], 2009-й [9], 2010-й [10] і 2011-й [11] роки)

Китай на протяжении нескольких лет довольно стабильно увеличивал объемы поставок своей бронетехники в развивающиеся страны (рис. 5).

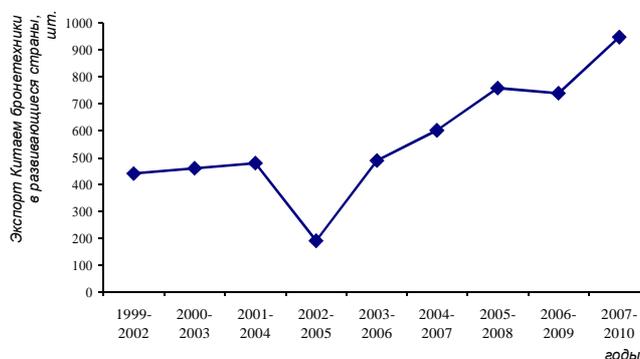


Рисунок 5 – Динаміка експорту Китаєм бронетехніки в розвиваючі країни в 1997–2010 гг. (по докладам Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [3], 2004-й [4], 2005-й [5], 2006-й [6], 2007-й [7], 2008-й [8], 2009-й [9], 2010-й [10] і 2011-й [11] роки)

При разбиении данных поставок на две основные категории бронетехники (тяжелая и легкая) выясняется, что Китай в последнее время наращивал экспорт как бронетранспортеров и бронированных автомобилей, так и – после продолжительного спада – танков и самоходных орудий (рис. 6).

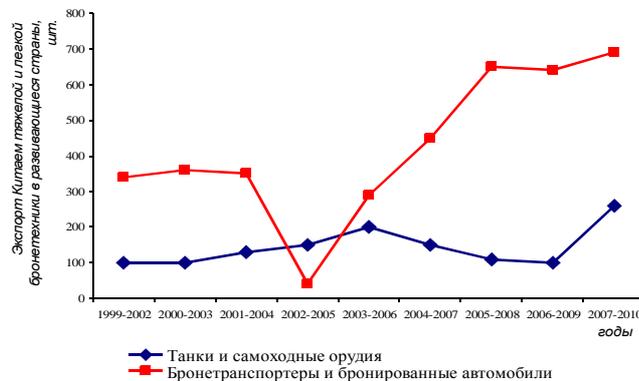


Рисунок 6 – Динамика экспорта Китаем тяжелой и легкой бронетехники в развивающиеся страны в 1999–2010 гг. (по докладом Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [3], 2004-й [4], 2005-й [5], 2006-й [6], 2007-й [7], 2008-й [8], 2009-й [9], 2010-й [10] и 2011-й [11] годы)

Соответственно, в последнее время росла и доля Китая в общем объеме мировых поставок в развивающиеся страны как бронетехники в целом (в 2007–2010 годах она составила 17 %) (рис. 7), так и обеих ее основных категорий – тяжелой и легкой (в 2007–2010 годах она составила соответственно 11 % и 21 %) (рис. 8).

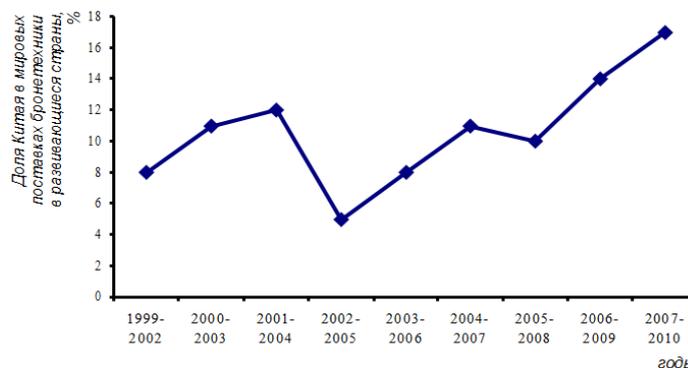


Рисунок 7 – Динамика доли Китая в мировых поставках бронетехники в развивающиеся страны в 1999–2010 гг. (по докладом Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [3], 2004-й [4], 2005-й [5], 2006-й [6], 2007-й [7], 2008-й [8], 2009-й [9], 2010-й [10] и 2011-й [11] годы)

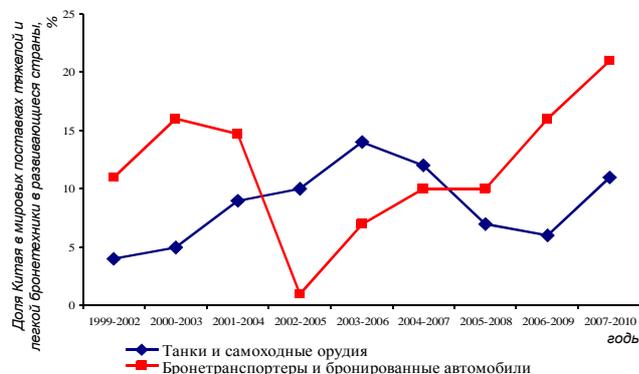


Рисунок 8 – Динамика доли Китая в мировых поставках тяжелой и легкой бронетехники в развивающиеся страны в 1999–2010 гг. (по докладом Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [3], 2004-й [4], 2005-й [5], 2006-й [6], 2007-й [7], 2008-й [8], 2009-й [9], 2010-й [10] и 2011-й [11] годы)

Рынок развивающихся стран географически делится Исследовательской службой Конгресса США на Ближний Восток (в него входят Алжир, Бахрейн, Египет, Израиль, Иордания, Ирак, Иран, Йемен, Катар, Кувейт, Ливан, Ливия, Марокко, ОАЭ, Оман, Саудовская Аравия, Сирия, Тунис), Азию (азиатские страны за исключением тех, которые относятся к Ближнему Востоку), Африку (африканские страны за исключением тех, которые относятся к Ближнему Востоку) и Латинскую Америку. Если проанализировать поставки Китаем бронетехники по регионам, то выяснится, что больше всего бронетранспортеров и бронированных автомобилей Китай поставляет в Африку, однако в последние годы наметилась тенденция роста объемов поставок данных изделий и в Азию; объемы поставок на Ближний Восток после недавних успехов резко упали; Латинская Америка играет лишь незначительную роль в китайском экспорте бронетранспортеров и бронированных автомобилей (рис. 9).

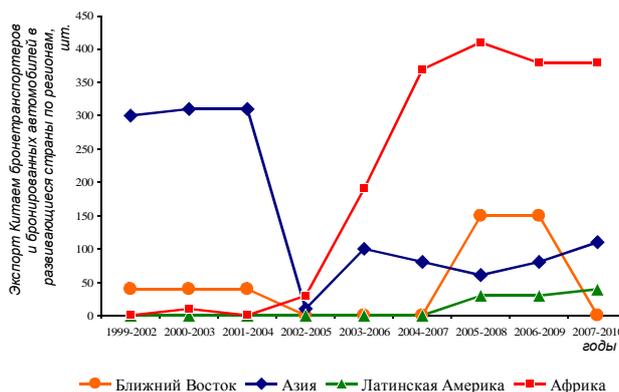


Рисунок 9 – Динамика экспорта Китаем бронетранспортеров и бронированных автомобилей в развивающиеся страны по регионам в 1999–2010 гг. (шт., по докладам Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [3], 2004-й [4], 2005-й [5], 2006-й [6], 2007-й [7], 2008-й [8], 2009-й [9], 2010-й [10] и 2011-й [11] годы)

Китайские танки и самоходные орудия поставляются также больше всего в Африку; наблюдается некоторый рост объемов их поставок в Азию и на Ближний Восток; в Латинскую Америку китайские танки и самоходные орудия на протяжении целого ряда лет вообще не поставлялись (рис. 10). При этом основу китайского экспорта тяжелой бронетехники составляет танк «Тип 90II», имеющий экспортное обозначение MBT-2000. Данные танки поставлялись в Марокко и Бангладеш [15]. Его разработка началась еще в середине 80-х годов, когда Китай приобрел у одной из стран Ближнего Востока несколько танков Т-72М советского производства и стал создавать на основе конструкции этого танка свой собственный танк [1]. Впервые о танке «Тип 90II» было официально заявлено в 1991 году, и с тех пор он претерпел ряд конструктивных доработок и изменений. В частности, на этом танке изначально был установлен немецкий двигатель MTU396, затем – английский двигатель CV-12 1200 TCA «Кондор», затем – украинский двигатель 6ТД-2 [1]. Добиться успехов в экспорте данного танка удалось лишь после внедрения в его конструкцию украинского моторно-трансмиссионного отделения с двигателем 6ТД-2 мощностью 1200 л.с. [1, 17].

По данным Исследовательской службы Конгресса США, отличительной особенностью экспорта из Китая бронетранспортеров и бронированных автомобилей в Африку является то, что, во-первых, он представляет собой небольшие по объему поставки многим различным странам; во-вторых, поскольку китайское вооружение по своему техническому уровню еще уступает оружию, производимому в странах Запада и в России (в результате чего оно и дешевле), его закупают в основном небогатые страны, военный бюджет которых ограничен [11]. Это подтверждается и данными, приводимыми в Регистре обычных вооружений Организации Объединенных Наций [2]. Так, например, по неполным данным, китайскую легкую бронетехнику в 2006 году приобрели Габон, Демократическая Республика Конго и Танзания, в 2007-м – Кения, Танзания и Чад, а в 2009-м – Гана, Намибия и Республика Конго [2]. По данным, опубликованным в британском издании «Jane's Armour and Artillery», легкая бронетехника китайского производства находится на вооружении в Бангладеш, Боснии и Герцеговине, Вьетнаме, Демократической Республике Конго, Зимбабве, Мьянме, Непале, Омане, Северной Корее, Таиланде, Танзании, Шри-Ланке [12]. Почти все перечисленные страны, исходя из данных, опубликованных в немецком издании «World Defence Almanac», являются небогатыми государствами с небольшим военным бюджетом [14]).

Наряду с экспортом своих изделий за границу Китай также прилагает усилия по организации их лицензионного производства зарубежными странами, однако пока что более-менее существенных успехов удалось добиться в такого рода сотрудничестве только с Пакистаном: в этой стране, в частности, изго-

тавливались китайские танки, имеющие следующие пакистанские обозначения: «Тип 59АР», «Тип 85ПАР», «Аль-Заррар» и «Аль-Халид» [1]. Наиболее современным и, соответственно, перспективным в плане дальнейшего двустороннего сотрудничества является танк «Аль-Халид», представляющий собой доработанный под требования Пакистана вариант танка «МВТ-2000», являющегося, в свою очередь, экспортным вариантом танка «Тип 90П» [1].

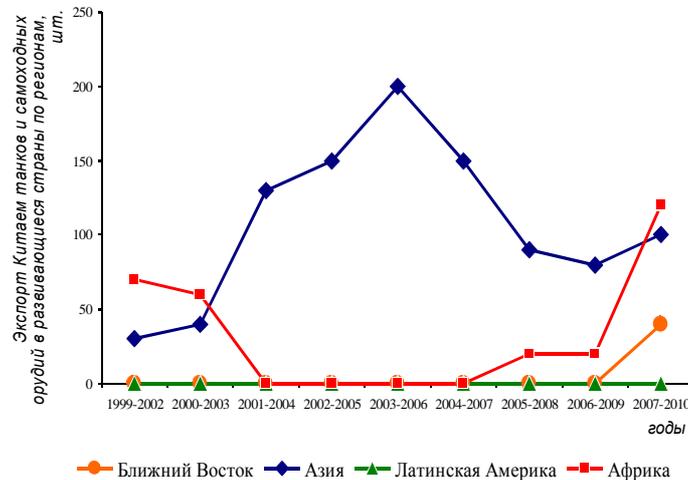


Рисунок 10 – Динаміка експорту Китаєм танків та самоходних озброєнь у розвиваючіся країни по регіонах в 1999–2010 гг. (шт., по докладом Исследовательской службы Конгресса США за 2003-й [3], 2004-й [4], 2005-й [5], 2006-й [6], 2007-й [7], 2008-й [8], 2009-й [9], 2010-й [10] и 2011-й [11] годы)

По требованию заказчиков Китая зачастую приходится использовать в конструкции поставляемых за рубеж китайских изделий компоненты иностранного производства. Например, Китай до сих пор не создал своего танкового двигателя мощностью более 1000 лошадиных сил, и когда возникала необходимость оборудовать танк двигателем мощностью 1200 л.с., китайские танкостроители использовали двигатели иностранного производства (в частности, в танке МВТ-2000, поставленном в Марокко и в Бангладеш и изготовлявшимся по лицензии в Пакистане под обозначением «Аль-Халид», используется украинский танковый двигатель 6ТД-2 мощностью 1200 л.с. [17]). Это ставит китайский экспорт бронетехники в определенную зависимость от иностранных поставщиков. Так, например, в 2000 году Перу отказалось от намечавшейся закупки танков МВТ-2000, потому что, как выяснилось, Китай не получил от Украины разрешения на реэкспорт в Перу украинских моторно-трансмиссионных отделений, входящих в состав данного танка [16].

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- Китай стабильно наращивает объемы своего экспорта тяжелой (танки и самоходные артиллерийские установки) и легкой (бронетранспортеры и бронированные автомобили) бронетехники в развивающиеся страны на фоне тенденции к увеличению общемировых объемов экспортных поставок в эти страны танков и самоходных орудий, а также уменьшения общемировых объемов экспортных поставок в эти страны бронетранспортеров и бронированных автомобилей, в результате чего доля Китая на рынке бронетехники развивающихся стран возрастает;
- основными импортерами китайской бронетехники являются страны Африки;
- Китаю удавалось добиваться определенных успехов в поставках своей тяжелой бронетехники в Азию и – совсем недавно – на Ближний Восток, а легкой бронетехники – в Азию и Латинскую Америку;
- в Латинской Америке тяжелая бронетехника китайского производства сбыта не находит;
- основу китайского экспорта бронетехники в развивающиеся страны составляют недорогие изделия с относительно невысоким уровнем технической сложности, которые закупаются странами с ограниченным военным бюджетом;
- Китай прилагает усилия по организации производства китайской бронетехники по лицензии за границей, однако существенных успехов на данном поприще удалось добиться лишь в сотрудничестве с Пакистаном;
- экспорт китайской бронетехники все еще находится в определенной зависимости от иностранных поставщиков компонентов, которые Китай самостоятельно пока не изготавливает.

Литература

1. Корякин Л.А., Моисеев В.И. Военная техника и вооружение Китая. Вып. 1: Танки. – Саранск: типография «Красный Октябрь», 2002.
2. Регистр обычных вооружений на официальном веб-сайте Организации Объединенных Наций. – www.un-register.org.
3. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1995-2002. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. September 22, 2003. – 84 p.
4. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1996-2003. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. August 26, 2004. – 87 p.
5. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1997-2004. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. August 29, 2005. – 86 p.
6. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1998-2005. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. October 23, 2006. – 91 p.
7. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1999-2006. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. September 26, 2007. – 92 p.
8. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2000-2007. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. October 23, 2008. – 75 p.
9. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2001-2008. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. September 4, 2009. – 84 p.
10. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2002-2009. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. September 10, 2010. – 84 p.
11. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2003-2010. CRS Report for Congress // Congressional Research Service. The Library of Congress. September 22, 2011. – 84 p.
12. Jane's Armour and Artillery. – 2007–2008.
13. SIPRI Yearbook 2012. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – www.sipri.org/yearbook/2012.
14. World Defence Almanac. Monch Publishing Group. – 2010.
15. Армия Бангладеш получит 44 танка МБТ-2000. [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа на сайт http://www.army-guide.com/rus/article/article_1957.html.
16. Перу окончательно отказывается от закупки китайских тактов МБТ-2000. [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа на сайт http://www.army-guide.com/rus/article/article_1707.html.
17. МБТ 2000 / Type 90II. [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа на сайт <http://www.army-guide.com/rus/product1475.html>.
18. Китай вошел в пятерку крупнейших экспортеров оружия. [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа на сайт <http://www.topwar.ru/25539-kitay-voshel-v-pyaterku-krupneyshih-eksporterov-oruzhiya.html>.

Bibliography (transliterated)

1. Korjakin L.A., Moiseev V.I. Voennaja tehnika i vooruzhenie Kitaja. Vyp. 1: Tanki. – Saransk: tipografija «Krasnyj Oktjabr», 2002.
2. Registr obychnyh vooruzhenij na oficial'nom veb-sajte Organizacii Ob"edinennyh Nacij. – www.un-register.org.
3. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1995-2002. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. September 22, 2003. – 84 p.
4. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1996-2003. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. August 26, 2004. – 87 p.
5. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1997-2004. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. August 29, 2005. – 86 p.
6. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1998-2005. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. October 23, 2006. – 91 p.
7. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 1999-2006. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. September 26, 2007. – 92 p.
8. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2000-2007. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. October 23, 2008. – 75 p.
9. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2001-2008. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. September 4, 2009. – 84 p.

10. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2002-2009. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. September 10, 2010. – 84 p.
11. Conventional Arms Transfers to Developing Nations, 2003-2010. CRS Report for Congress Congressional Research Service. The Library of Congress. September 22, 2011. – 84 p.
12. Jane's Armour and Artillery. – 2007–2008.
13. SIPRI Yearbook 2012. – Armaments, Disarmament and International Security. – Chapter Summaries. – www.sipri.org/yearbook/2012.
14. World Defence Almanac. Monch Publishing Group. – 2010.
15. Armija Bangladesh poluchit 44 tanka MBT-2000. [Jelektronnyj resurs]. – 2011. – Rezhim dostupa na sajt http://www.army-guide.com/rus/article/article_1957.html.
16. Peru okonchatel'no otkazyvaetsja ot zakupki kitajskih takov MBT-2000. [Jelektronnyj resurs]. – 2010. – Rezhim dostupa na sajt http://www.army-guide.com/rus/article/article_1707.html.
17. MBT 2000 Type 90II. [Jelektronnyj resurs]. – 2013. – Rezhim dostupa na sajt <http://www.army-guide.com/rus/product1475.html>.
18. Kitaj voshel v pjaterku krupnejshih jeksporterov oruzhija. [Jelektronnyj resurs]. – 2013. – Rezhim dostupa na sajt <http://www.topwar.ru/25539-kitay-voshel-v-pyaterku-krupneyshih-eksporterov-oruzhiya.html>.

УДК 621-05 (477.54-25)

Ковалів В.І., Малахов В.А.

ПОЗИЦІЇ КИТАЯ НА РИНКУ БРОНЕТЕХНІКИ КРАЇН, ЩО РОЗВИВАЮТЬСЯ

У статті розглянуто роль Китаю на ринку бронетехніки країн, що розвиваються, встановлено, які країни є основними імпортерами китайської бронетехніки, визначено, які тенденції мають місце в експорті китайської бронетехніки по регіонах, з'ясовано, що складає основу китайського експорту бронетехніки.

Kovaliv V.I., Malakhov V.A.

CHINA'S POSITION IN THE ARMoured VEHICLE MARKET OF THE DEVELOPING COUNTRIES

The article describes the role of China in the armoured vehicle market of the developing countries, determines which countries are the main importers of the Chinese armoured vehicles, defines the trends in the export of the Chinese armoured vehicles to various regions, and finds out what kinds of products are the main items of the Chinese export of armoured vehicles.