

УДК 621:664(076)

Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Перевертайленко А.Ю., Гарев А.О., Быканов С.Н.

**К ВОПРОСУ ОБ УЛУЧШЕНИИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА
В ТЕХНОЛОГИИ РЕГЕНЕРАЦИИ ГИДРОЛИЗНОЙ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ**

Проблема отходов тесно связана с резким ростом потребления, которое началось в середине прошлого века [1]. Промышленные отходы (ПО) представляют собой побочные продукты технологических систем различных производств, не возвращенные в технологические циклы, не используемые в инфраструктуре промышленных предприятий и не экспортируемые на другие предприятия в качестве сырья. По существу отходами являются выбросы в окружающую среду, причем большая часть отходов представляет собой вредные выбросы, которые негативно влияют на экосистему. При решении проблемы ПО необходимо максимально, насколько это позволяют лучшие известные технологии, извлечь те вещества и элементы, которые представляют ценность для дальнейшего использования. Одной из технологий, связанных с решением проблемы ПО является утилизация гидролизной серной кислоты, которая является отходом производства двуокиси титана и в настоящее время сбрасывается в озера – отстойники [2].

Было рассмотрено две установки, входящие в состав технического проекта переработки гидролизной кислоты с получением 93 % серной кислоты мощностью 263 тыс. тонн в год и железного купороса мощностью 98 тыс. тонн в год. Первая установка предназначена для концентрирования гидролизной серной кислоты до 75 % и выделению из нее примесей в виде твердой фазы, вторая – для укрепления серной кислоты до 93 %. Энерго-функциональная схема установок представлена на рис. 1.

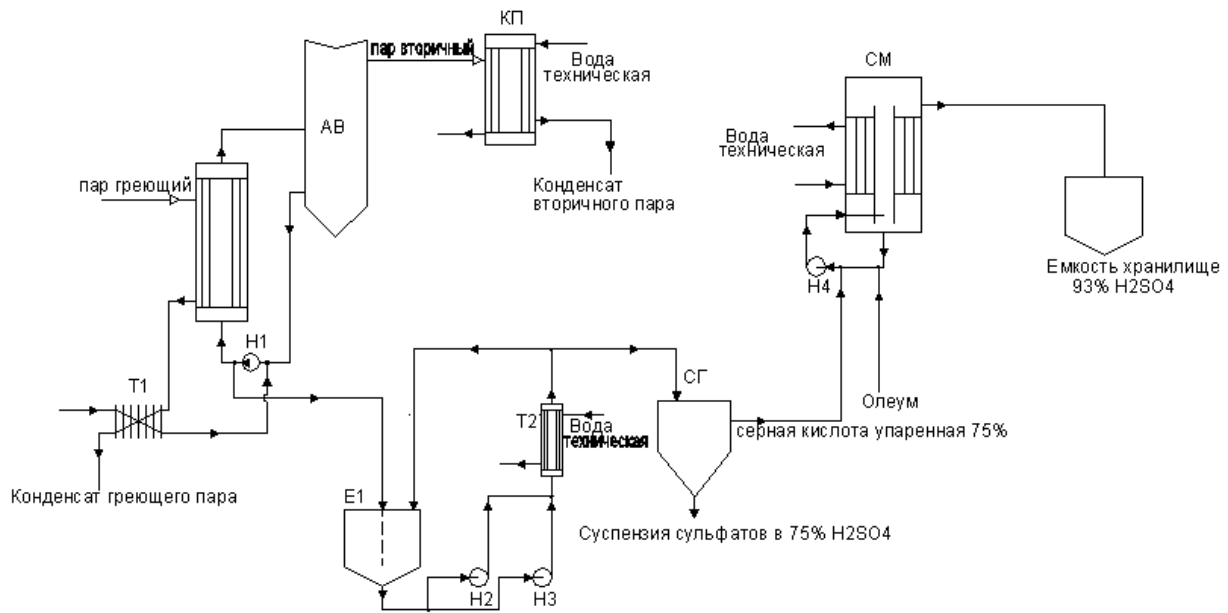


Рисунок 1 – Энерго-функциональная схема концентрирования гидролизной серной кислоты до 75 % с последующим укреплением до 93 %

АВ – выпарной аппарат, КП – конденсатор, Н1-Н4 – насосы, СМ – смеситель, Т1– рекуперативный пластинчатый теплообменник, Т2 – кожухотрубный охладитель, Е1 – промежуточная емкость

Исходный раствор, представляющий собой отфильтрованную гидролизную серную кислоту 60 %, поступает в цех с температурой 70 °С. Кислота подогревается в теплообменнике Т1 от 70 °С до 90 °С, после чего подается в выпарной аппарат АВ. Теплообменник Т1, обогревается конденсатом греющего пара, поступающим из греющей камеры АВ.

При упаривании серной кислоты до 75 % из раствора выделяются примеси в виде твердой фазы (сульфаты железа и прочие сульфаты (Al, Mg, Mn, V)). Температура кипения раствора 105 °С. Образовавшаяся суспензия (упаренный раствор) отводится из выпарных аппаратов и собирается в емкости Е1, где охлаждается, циркулируя через теплообменник Т2. Температура раствора на выходе из теплообмен-

ника 60 °С. После выхода из теплообменника упаренный раствор разделяется. Одна часть упаренного раствора возвращается в емкость Е1, за счет чего температура в емкости составляет 71,6 °С. Другая часть упаренного 75 % раствора кислоты, с температурой 60 °С, поступает в сгуститель СГ.

Сгущенная суспензия из нижней части сгустителя СГ отводится на установку фильтрования. Осветленный раствор 75 % серной кислоты поступает на установку укрепления до 93 %.

Греющая камера АВ обогревается паром с давлением 0,2 МПа и температурой 120 °С. Конденсат из греющей камеры АВ используется для обогрева рекуперативного теплообменника Т-1. Вторичный пар из аппарата АВ конденсируется в конденсаторе КП с температурой около 40 °С.

В следующей установке происходит процесс укрепления 75 % серной кислоты до 93 %. Укрепление проводится 20 % олеумом. Процесс проводится в смесителе СМ, представляющий собой аппарат емкостного типа со встроенным теплообменником и циркуляционным насосом. Исходная 75 % серная кислота с температурой 60 °С и 20 % олеум с температурой 70 °С, подаются во всасывающую линию циркуляционного насоса, смешиваются с циркулирующей 93 % серной кислотой. Тепло, которое выделяется при смешении кислоты с олеумом, снимается охлаждающей водой во встроенном теплообменнике. Готовая 93 % серная кислота сливается в емкость хранилище, откуда насосом перекачивается на склад.

Циркуляция 93 % серной кислоты осуществляется встроенными насосами RSU 500 В2, производительностью 2000 м³/ч. Температура циркулирующей смеси на входе во встроенный теплообменник определяется из уравнения теплового баланса и составляет 61,9 °С.

Как видно, в данной химико-технологической системе имеются холодные и горячие утилиты, а также зона рекуперации (теплообменник Т-1). Следовательно, мы можем изучить возможность использование тепла, как подводимого, так и отводимого от системы.

Для оценки энергоэффективности установки были выбраны и проанализированы технологические потоки, представленные в табл.1.

Таблица 1 – Технологические потоки до реконструкции

№, тип потока	Наименование потока	Расход, кг/с	T _н , °С	T _к , °С	Теплоемкость, КДж/(кг К)	СР, КВт/К	ΔН, КВт
1. хол	Исх. к-та, 60%, подогреваемая в Т1,.	9,385	70	90	2,28	21,4	428
2. гор.	Конденсат г.п. из АВ .	2,281	120	75	4,216	9,62	432,9
3. гор	Втор. пар из АВ.	1,683	40	40	Конденсация r = 2403 КДж/кг		4044,25
4. гор.	Упаренная к-та, 75%,	7,702	105	60	1,94	14,942	672,39
5. гор.	Кислота 93% в смесителе	1015,56	61,9	60	1,56	1584,27	3010,11
6. хол.	Исх. к-та, 60% в АВ	146,92	90	105	2,28	334,977	5030

В данной технологической схеме рекуперация тепла осуществляется за счет использования тепла конденсата греющего пара из аппарата АВ. Конденсат греющего пара нагревает исходную 60 % кислоту в теплообменнике Т1 от 70 до 90 °С. При этом количество рекуперированного тепла составляет 428 КВт.

Такому количеству рекуперированного тепла отвечает ΔT_{min}=22 °С. При этом совместное изображение горячей и холодной составных кривых имеет вид, представленный на рис. 2. Величина холодных утилит соответствует сумме теплоты охлаждения горячих потоков (№3, №4, №5). Количество горячих утилит Q_{Hmin} соответствует количеству тепла, необходимого для подогрева и выпаривания потока №6.

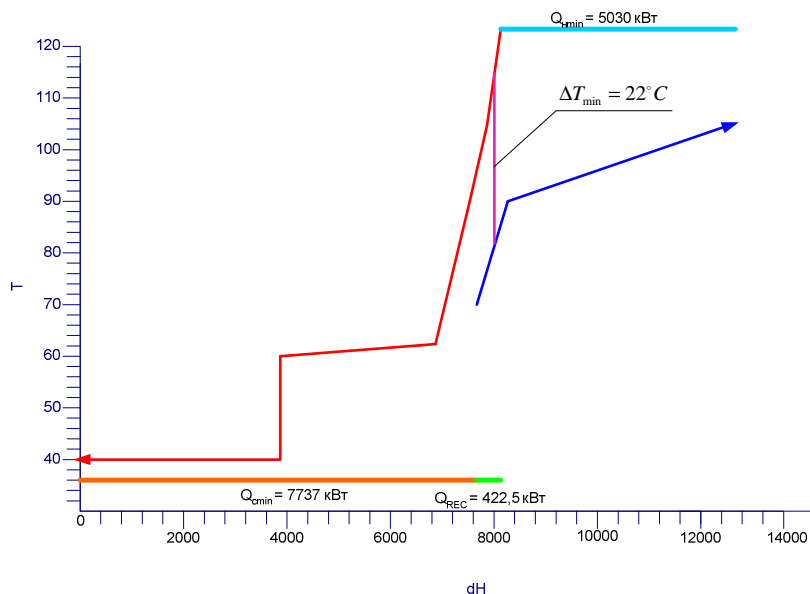


Рисунок 2 – Составные кривые для существующего проекта

Сеточная диаграмма производства до реконструкции для $\Delta T_{\min}=22^{\circ}\text{C}$ приведена на рис. 3.

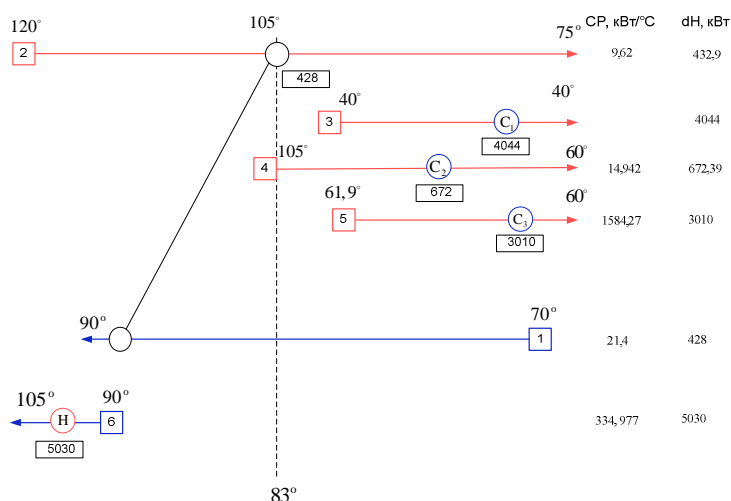


Рисунок 3 – Сеточная диаграмма для существующего проекта

Как видно, в существующей технологической схеме происходит передача тепла через пинч. Это указывает на возможность реконструкции существующей схемы с целью более экономного использования энергоресурсов [3].

Для этого рассмотрим воду, которая используется для конденсации вторичного пара в теплообменнике КП. Она нагревается до 35°C и это низкопотенциальное тепло не используется. Возьмем необходимое количество воды с температурой 35°C и направим в смеситель СМ в качестве охлаждающей воды. В смесителе она будет отводить тепло, выделяемое при смешении, и нагреется до 45°C . Данный теплоноситель может быть использован для технологических нужд предприятия. Кроме этого существует возможность догрева части этого холодного потока до более высокой температуры. Для этого нам необходимо заменить утилитный кожухотрубчатый теплообменник Т-2 и убрать из схемы систему циркуляции охлаждаемой серной кислоты через данный теплообменный аппарат, которая создана для того чтобы избежать перегрева 75 % серной кислоты выше 62°C во избежание выхода из строя оборудования. Осуществить это возможно, так как существующие современные графитовые пластинчатые теплообменники работают при более высоких температурах сернокислых растворов и имеют более высокие коэффициенты теплопередачи, что важно для реализации энергосберегающего решения. Также снижается количество электроэнергии, потребляемой установкой за счет снижения нагрузки на насосную группу.

Таким образом, выявив возможность увеличения рекуперативной тепловой энергии, мы с помощью методов пинч-анализа определяем оптимальное значение $\Delta T_{\min} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ и строим сеточную диаграмму для модернизированной технологической схемы [3].

Технологические потоки в реконструируемом варианте представлены в табл. 2. Новые потоки №7 и №8 представляют собой воду, которая нагревается до $45 \text{ }^\circ\text{C}$ и до температуры $90 \text{ }^\circ\text{C}$. На данном этапе мы не обосновываем, где конкретно будут использоваться новые потоки, однако значения целевых температур наглядно иллюстрируют возможность получения тепла рекуперации на двух температурных уровнях.

Таблица 2 – Технологические потоки после реконструкции

№, тип потока	Наименование потока	Расход, кг/с	$T_H, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_K, \text{ }^\circ\text{C}$	Теплоемкость, КДж/(кг К)	СР, кВт/К	$\Delta H, \text{ кВт}$
1. хол.	Исх. к-та, 60%, подогреваемая в Т1.	9,385	70	90	2,28	21,4	428
2. гор.	Конденсат г.п. из АВ .	2,281	120	75	4,216	9,62	432,9
3. гор.	Втор. пар из АВ.	1,683	40	40	Конденсация $r = 2403 \text{ КДж/кг}$		4044,25
4. гор.	Упаренная к-та, 75 %	7,702	105	60	1,94	14,942	672,39
5. гор.	Кислота 93 % в смесителе	1015,56	61,9	60	1,56	1584,27	3010,11
6. хол.	Исх. к-та, 60% в АВ	146,92	90	105	2,28	334,977	5030
7. хол.	Вода, подогреваемая до $45 \text{ }^\circ\text{C}$	71,84	28	45	4,19	301	5117,0
8. хол.	Вода, подогреваемая до $90 \text{ }^\circ\text{C}$	3,566	45	90	4,19	14,942	672,39

Сеточная диаграмма после реконструкции приобретает вид, показанный на рис. 4. При этом теплота через пинч уже не переносится, что говорит о правильности выбранных решений.

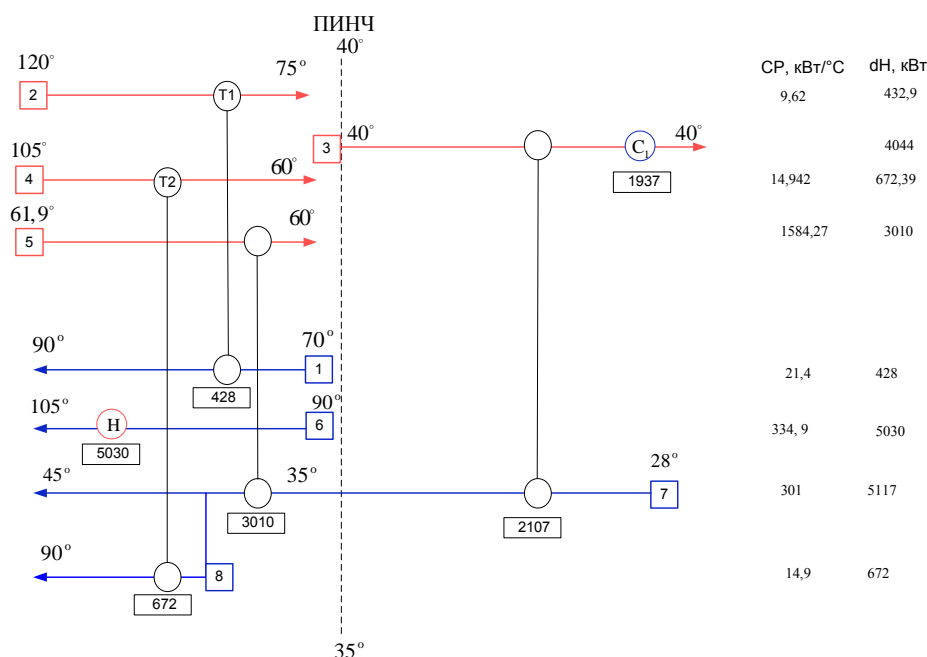


Рисунок 4 – Сеточная диаграмма для проекта реконструкции

После реконструкции количество холодных утилит уменьшилось на 5789 кВт и составляет $Q_{Cmin}=1937$ кВт. Количество горячих утилит не уменьшилось и составляет, как и раньше $Q_{Hmin}=5030$ кВт (рис. 5). Таким образом, мы существенно уменьшаем количество охлаждающей воды и дополнительно получаем 246 т/час горячей воды с температурой 45°C и 12,8 т/час горячей воды с температурой 90°C . Горячая вода может быть использована на технологические нужды или для отопления помещений.

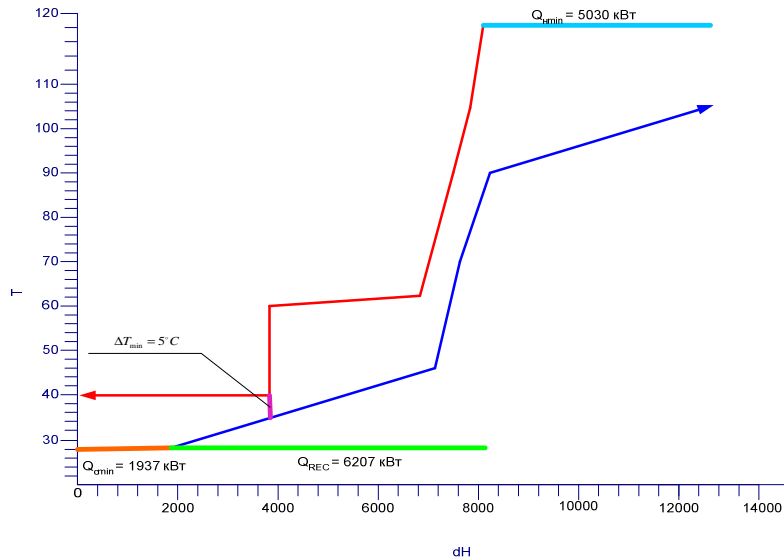


Рисунок 5 – Составные кривые проекта реконструкции

После проектирования модернизированной сеточной диаграммы мы получаем новую энерго-функциональную схему, где присутствуют новые технологические потоки (Рис.6) .

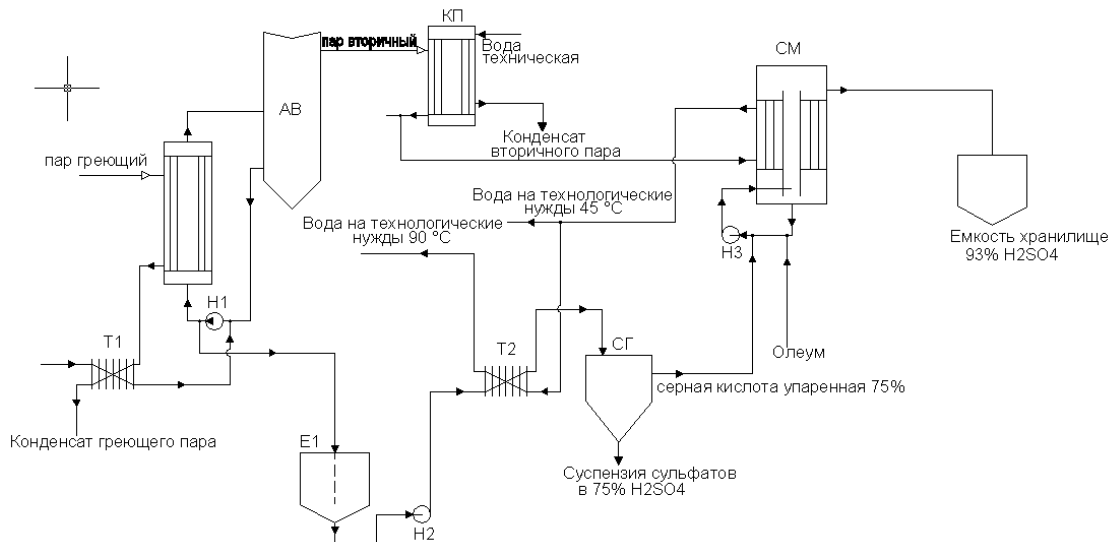


Рисунок 6 – Энерго-функциональная схема концентрирования гидролизной серной кислоты до 75 % с последующим укреплением до 93 % после модернизации

AB – выпарной аппарат, КП – конденсатор, Н1-Н3 – насосы, СМ – смеситель, Т1,Т2 – рекуперативные пластинчатые теплообменники, Е1 – промежуточная емкость

Обоснуем выбор теплообменного оборудования (теплообменники Т-1, Т-2). Так как серная кислота с данной концентрацией и при данных температурах является агрессивной рабочей средой, выбор конструкционного материала для поверхности теплопередачи, устойчивого к воздействию серной кислоты является весьма важным. В мировой практике для тепловой обработки серной кислоты с концентрацией 20–80 % вес. и температурой до 150°C являются графитовые теплообменники, причем графит со-

держит соответствующие наполнители, которые улучшают его механические и химические свойства[4]. Такой материал обладает инертностью к химически агрессивным рабочим средам, высокой теплопроводностью, хорошо обрабатывается. В качестве наполнителей используются синтетические смолы, полиэфир, фторопласты и т.д. В настоящее время широкий спектр теплообменной аппаратуры из графита представлен компаниями Sigrі Great lakes (SGL) Carbon Group (Германия) и Group Carbon Lorraine (Франция) с использованием наполненных графитов, известных как DIABON® и GRAPHILOR® соответственно[5]. Пластинчатые графитовые теплообменники совместной разработки SGL Carbon и Alfa Laval представляют собой разновидность разборных пластинчатых теплообменных аппаратов, пакет которых выполнен из DIABON®, а прокладки из фтороэластомера, который при сжатии пакета расплющивается и образует уплотнительную полосу шириной 20 мм и толщиной 0,2 мм. Для серной кислоты с концентрацией 60–75 % применяется DIABON®NS.

Опыт эксплуатации графитового пластинчатого теплообменника S10N для подогрева и поддержания температуры травильного раствора для травления листовой углеродистой листовой стали (24 % H_2SO_4 , $t = 94\text{--}105\text{ }^\circ\text{C}$) на одном из металлургических предприятий Украины подтверждает работоспособность и высокую тепловую эффективность подобных аппаратов [5]. Наличие в растворе железного купороса $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ не приводит к загрязнению поверхности теплопередачи. На поверхности пластин не было отмечено также следов $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Таким образом, трансформируя тепловую нагрузку холодных утилит в нагрузку введенных технологических потоков с заданными целевыми температурами, мы преобразуем энергию утилит в энергию рекуперации. В данной статье мы рассмотрели тепловую интеграцию части крупного производственного комплекса по регенерации гидролизной кислоты, которая, показала возможность получения внутренней тепловой энергии предприятием. Решая задачу для всего комплекса, мы можем получить более эффективные энергосберегающие решения, что может послужить ярким примером системного подхода к вопросам ресурсо- и энергосбережения в химической промышленности Украины.

Литература

1. 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.
2. Данилов Ю.Б. Новые и перспективные разработки, технологии и оборудования для химической и нефтегазодобывающей промышленности. //Тези доповідей міжнародної наукової – технічної конференції « Сучасні проблеми нано-, енерго- та ресурсозберігаючих і екологічно орієнтованих хімічних технологій», 27–28 травня 2010 р., НТУ «ХПИ», Харків, 2010, с. 191–193
3. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов. Харьков: НТУ ХПИ», 2000, 457 с.
4. Hills D. E. G. Graphite Heat Exchangers. «Chemical Process Engineering», 1971, 52, №1.
5. Kapustenko P.A., Perevertaylenko A.Yu., Khavin G.L., Arsenyeva O.P. «Graphite plate heat exchangers as Energy Saving Tool for Corrosive Media Duties. Chemical Engineering Translations», 2007, v. 12 Ed. by J. Klemes, p. 219–224.

Bibliography (transliterated)

1. 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.
2. Danilov Ju.B. Novye i perspektivnye razrabotki, tehnologii i oborudovanija dlja himicheskoi i neftegazodobyvajushhej promyshlennosti. Tezi dopovidej mizhnarodnoї naukoivoї – tehnicnoї konferencii « Suchasni problemi nано-, energo- ta resursozberigajuchih i ekologichno orientovanih himichnih tehnologij», 27–28 travnja 2010 r., NTU «HPI», Harkiv, 2010, p. 191–193
3. Smit R., Klemesh J., Tovazhnjanskij L.L., Kapustenko P.A., Ul'ev L.M. Osnovy integracii teplovyh processov. Har'kov: NTU HPI», 2000, 457 p.
4. Hills D. E. G. Graphite Heat Exchangers. «Chemical Process Engineering», 1971, 52, #1.
5. Kapustenko P.A., Perevertaylenko A.Yu., Khavin G.L., Arsenyeva O.P. «Graphite plate heat exchangers as Energy Saving Tool for Corrosive Media Duties. Chemical Engineering Translations», 2007, v. 12 Ed. by J. Klemes, p. 219–224.

УДК 621:664(076)

Товажняньський Л.Л., Капустенко П.О., Перевертайленко О.Ю., Гарев А.О., Биканов С.М.

**ДО ПИТАННЯ ПРО ПОЛПШЕННЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА У ТЕХНОЛОГІЇ РЕГЕНЕРАЦІЇ
ГІДРОЛІЗНОЇ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ**

Використано методи пінч-аналізу та доведено доцільність подальшого впровадження графітових пластинчастих теплообмінних апаратів для удосконалення утилізації тепла у конверсії такого шкідливого викиду процесу виробництва двоокису титану, як гідролізна сірчана кислота.

Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Yu., Garev A.O., Bykanov S.M.

**ON IMPROVEMENT THE HEAT INTEGRATION IN HYDROLYTIC SULPHURIC ACID
RECOVERY PROCESS**

The best available techniques such as pinch-analysis and graphite plate heat exchangers are proposed to improve the heat integration in recovery of hydrolytic sulphuric acid that is hazardous waste of titanium dioxide production.

**ДО ПИТАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ
У РІДКОФАЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Актуальність та мета дослідження. Основною проблемою сьогоденного виробництва продуктів харчування є низька енергоефективність тепломасообмінних процесів харчових технологій. Відомо, що на одиницю національного внутрішнього валового продукту (ВВП) в Україні витрачається у 2,5–5 разів більше енергоресурсів, ніж у розвинутих країнах Європи та США. В порівнянні з Японією ця цифра сягає до 7 разів [1, с. 20]. Можна лише дивуватися, яким чином функціонує національна економіка, особливо важка промисловість, коли основним енергоносієм є природний газ, який для промислових потреб закуповується за межами країни. На нашу думку, Японія саме тому досягла таких високих показників енергоефективності економіки, що не мала і не має в достатній мірі своїх енергоресурсів. З привозними енергоносіями, враховуючи мізерні земельні багатства, життєдіяльність Японії при низькій енергоефективності економіки, видається сумнівною.

Загальновиизнаним є факт, що Україна володіє колосальним земельним потенціалом. Звичайно, конкурувати з Японією в області, наприклад, радіоелектроніки на сьогоднішній день є не доцільно, але розвивати виробництво продуктів харчування в Україні, яке пов'язане із багатими земельними ресурсами, видається нам дуже перспективним, особливо, враховуючи прогнози «Римського клубу». Цей прогноз говорить про два найбільші дефіцити у розвитку людства до 2030 року – це енергетичний та продовольчий [1]. Взявши за модель енергоефективний японський підхід до виробництва продуктів харчування, Україна може в недалекому майбутньому виробити свій пріоритетний шлях розвитку у світовій глобалізованій економіці. Хочеться наголосити, що саме в технічній сфері виробництва продуктів харчування можна вже сьогодні віднайти скриті, приховані резерви енергоефективного проведення цілої низки тепломасообмінних процесів.

Відомо, що рідкофазні харчові продукти, молоко, соки, пиво та ін. мусять піддаватися тепловій обробці – пастеризації, оскільки швидко псуються. При цьому процеси теплообміну є дуже енергозатратними. Саме високі значення коефіцієнтів теплопередачі теплообмінної апаратури можуть підвищити енергоефективність цих процесів.

Аналіз останніх досліджень. Переважна більшість теплообмінної апаратури розраховується таким чином, щоб рух рідини в ній здійснювався за турбулентного (Т), в крайньому випадку за перехідного (П) режиму [2, 3]. Найбільш широкий експериментальний матеріал по впливу вільної конвекції, тобто за Л режиму руху теплоносіїв на інтенсивність теплообміну представлений в роботі [4]. Пізніше масив експериментальних даних протягом багатьох років, що стосувався теплопередачі за Л режиму руху теплоносіїв був узагальнений критеріальним рівнянням 1.

$$Nu=0,17Re^{0,33}Pr^{0,43}Gr^{0,1}\left(\frac{Pr}{Pr'}\right)^{0,25} \tag{1}$$

Вперше Нуссельтом експериментально було показано вплив турбулентного потоку газів на тепловіддачу [5]. Подальші дослідження вчених привели до узагальнюючого критеріального рівняння, що застосовується для знаходження коефіцієнтів тепловіддачі за Т режиму руху теплоносіїв в трубах чи каналах [6].

$$Nu=0,021Re^{0,8}Pr^{0,43}\left(\frac{Pr}{Pr'}\right)^{0,25} \tag{2}$$

Підставивши відповідні значення чисел Рейнольдса, Грасгофа і Прандтля в рівняння (1) і (2), можна побачити, що передача кількості тепла за П і Т режимів відбувається значно інтенсивніше, ніж за Л. Крім цього, за Т режиму руху теплоносіїв в трубопроводах чи каналах коефіцієнт тепловіддачі теплоносіїв на 80 % залежить від числа Рейнольдса, оскільки в критеріальному рівнянні (2) Re має найвищу степінь.

Особлива увага нами надається приповерхневому шарові (Л плівці) (рис. 1), оскільки саме там концентрується максимальний тепловий опір. На схемі (рис. 1) показана металева стінка рекуперативно-

го теплообмінника, яка розділяє два рідких (Р) теплоносії з коефіцієнтами тепловіддачі α_1 і α_2 . Питома кількість теплоти q , що передається від P_1 до P_2 розраховується з рівності (3):

$$q = K(t_{я1} - t_{я2}), \quad (3)$$

де K – загальний коефіцієнт теплопередачі системи, Вт/м²·К; $t_{я1}, t_{я2}$ – температури ядер потоків P_1 і P_2 відповідно, К.

При цьому, загальний коефіцієнт теплопередачі K включає в себе коефіцієнти тепловіддачі α_1 і α_2 і тепловий опір металевої роздільної стінки (рис. 1) і може бути розрахований за загальновідомою рівністю (4):

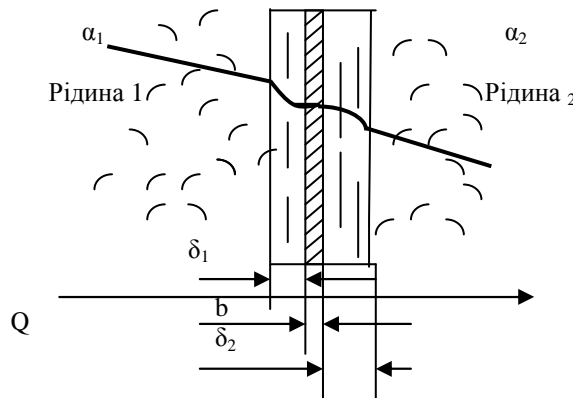


Рисунок 1 – Схема передачі кількості теплоти Q через рекуперативну стінку від α_1 до α_2

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{b}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (4)$$

Загальний тепловий опір двох Л-плівок і роздільної стінки складатиме (5):

$$R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{b}{\lambda}, \quad (5)$$

де R – тепловий опір двох Л-плівок і роздільної стінки, м²·К/Вт; δ_1, δ_2, b – товщини Л-плівок P_1 і P_2 і металевої стінки відповідно, м; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda$ – коефіцієнти теплопровідності Л-плівок P_1, P_2 і металевої стінки відповідно, Вт/м·К; α_1, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі P_1 і P_2 відповідно, Вт/м²·К;

З літературних даних, та з відомих критеріальних рівнянь нами показано, що тепловий опір в рекуперативній теплообмінній апаратурі концентрується на межі рідина – стінка в Л-приповерхневому шарі.

Виклад основного матеріалу досліджень. Наприклад, для трубопроводу діаметром $d = 25$ мм, по якому рухається вода з температурою 80 °С, залежність коефіцієнта тепловіддачі α , який визначається з критеріального рівняння (2), а також середньої товщини приповерхневого Л-шару δ , яка розраховується з рівності

$$\delta = \frac{30D}{\sqrt{\xi} \cdot Re} = \frac{30D}{\sqrt{\frac{0,316}{Re^{0,25}}}} = \frac{30D Re^{0,125}}{0,56 Re} = \frac{54D}{Re^{0,875}}, \text{ м,}$$

де D – діаметр трубопроводу, м; ζ – коефіцієнт гідравлічного тертя (коефіцієнт Дарсі). [7, с. 95; 8, с. 151], від значення числа Рейнольдса Re виглядає наступним чином (таблиця 1) [9]:

Таблиця 1 – Залежність коефіцієнта тепловіддачі α , середньої товщини Л шару δ від числа Re

Число Рейнольдса, Re	Число Нуссельта, Nu	Коефіцієнт тепловіддачі, α (з рівності 2) Вт/м ² ·град	Товщина Л шару, $\delta \cdot 10^{-3}$ м
–	–	–	–
10000	47	1261	0,4269
20000	81	2190	0,2328
30000	112	3029	0,1632
40000	141	3814	0,1269
50000	169	4559	0,1044
60000	195	5275	0,0890
70000	221	5967	0,0778
80000	246	6640	0,0692
90000	270	7296	0,0624
100000	294	7938	0,0596

З таблиці 1 можна зауважити, що зміна коефіцієнта тепловіддачі α зі збільшенням числа Рейнольдса в діапазоні $Re = 10000$ – 100000 з кроком 10000 обернено пропорційна зміні товщини Л приповерхневого шару δ , тобто відношення $\frac{\alpha_{n+1}}{\alpha_n}$ на 98 % обернено пропорційні відношенням $\frac{\delta_n}{\delta_{n+1}}$ (де n – число Рейнольдса в діапазоні $Re = 10000$ – 100000). Аналогічна ситуація спостерігається для води за інших температур, а також для інших теплоносіїв [9].

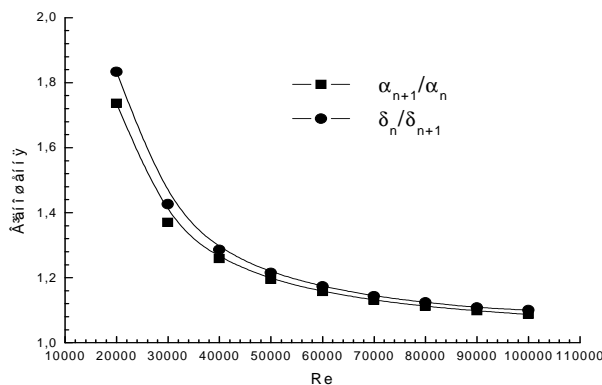


Рисунок 2 – Графік кореляції відношень $\frac{\alpha_{n+1}}{\alpha_n}$ і $\frac{\delta_n}{\delta_{n+1}}$ зі зростанням числа Re

Ця залежність говорить про те, що інтенсивність передачі кількості теплоти в потоках з Т або П режимами руху теплоносіїв на 98 % залежить від товщини Л шару δ і це закономірно, оскільки за Л режиму передача кількості теплоти в рідинах і газах здійснюється менш інтенсивно. Це легко перевірити, підставивши в критеріальне рівняння (2) значення чисел Рейнольдса, що відповідають Л режиму руху теплоносія, тобто $Re < 2320$.

Слід зауважити, що коефіцієнти тепловіддачі α_1, α_2 – величини, які розраховуються з критеріальних емпіричних рівнянь, переважно для Т або П режиму руху теплоносія (рівняння 2), що включають в себе великий масив експериментальних даних багатьох авторів. Тому, згідно попередніх наших досліджень, враховуючи, що тепловий опір системи рідина – стінка трубопроводу на 98 % складається з теплового опору Л приповерхневих шарів по обидві сторони стінки рекуперативного теплообмінника, можна твердити, що термічні опори Л шарів приблизно рівні термічним опорам середовищ P_1 і P_2 , тобто справедливе співвідношення (6):

$$\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \approx \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (6)$$

Для прикладу розглянемо теплову обробку виноградного соку ($t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$). (Процентний вміст сухих речовин – 20 %) в трубопроводі діаметром $D = 25 \cdot 10^{-3}$ м. Охолодження здійснюється «льодяною водою» ($t = 6 \text{ }^\circ\text{C}$) при швидкості руху обох теплоносіїв $v_{c1} = v_{c2} = 1$ м/с; товщина стінок трубопроводу з нержавіючої сталі $b = 1 \cdot 10^{-3}$ м

1. Густина виноградного соку, $\rho_1 = 1081$ кг/м³ [10, с. 141, 80].
2. Коефіцієнт динамічної в'язкості виноградного соку, $\mu_1 = 0,002$ Па·с [10, с. 144].
3. Коефіцієнт теплопровідності виноградного соку $\lambda_1 = 0,491$ Вт/м·К [10, с. 142].
4. Число Рейнольдса для соку (P_1), $Re_1 = \frac{v_{c1} D \rho}{\mu_1} = \frac{1 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 1081}{0,002} = 13512$
5. Товщина Л плівки для P_1 , $\delta_1 = \frac{54D}{Re_1^{0,875}} = \frac{54 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{13512^{0,875}} = 0,328 \cdot 10^{-3}$ м.
6. Тепловий опір Л плівки P_1 , $R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,328 \cdot 10^{-3}}{0,491} = 6,68 \cdot 10^{-4}$ м²·К/Вт.
7. Густина «льодяної води», $\rho_2 = 1000$ кг/м³ [11].
8. Коефіцієнт динамічної в'язкості «льодяної води», $\mu_2 = 1,5 \cdot 10^{-3}$ Па·с [11].
9. Коефіцієнт теплопровідності «льодяної води» $\lambda_2 = 0,6$ Вт/м·К [11].
10. Число Рейнольдса для води (P_2): $Re_2 = \frac{v_{c2} D \rho}{\mu_2} = \frac{1 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 1000}{0,0015} = 16666$.
11. Товщина Л плівки для P_2 , $\delta_2 = \frac{54D}{Re_2^{0,875}} = \frac{54 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{16666^{0,875}} = 0,273 \cdot 10^{-3}$ м.
12. Тепловий опір Л плівки P_2 , $R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,273 \cdot 10^{-3}}{0,6} = 4,55 \cdot 10^{-4}$ м²·К/Вт.
13. Сума теплових опорів двох Л шарів: $\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} = (6,68 + 4,55) \cdot 10^{-4} = 11,23 \cdot 10^{-4}$ м²·К/Вт.
14. Коефіцієнт теплопровідності нержавіючої сталі $\lambda = 17,5$ Вт/м·К [2].
15. Тепловий опір металевої стінки $R_c = \frac{b}{\lambda} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{17,5} = 0,57 \cdot 10^{-4}$ м²·К/Вт.
16. Теплоємність P_1 , $c_1 = 3550$ Дж/кг·К [10, с. 143].
17. Число Прандтля для P_1 , $Pr_1 = \frac{c_1 \mu_1}{\lambda_1} = \frac{3550 \cdot 0,002}{0,491} = 14,46$
18. Число Нуссельта для P_1 [3]: $Nu_1 \approx 0,021 \cdot Re^{0,8} Pr^{0,43} \approx 0,021 \cdot 13512^{0,8} \cdot 14,46^{0,43} = 134$
19. Коефіцієнт тепловіддачі для P_1 $\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_1}{D} = \frac{134 \cdot 0,491}{0,025} = 2623$ Вт/м²·К.
20. Теплоємність P_2 , $c_2 = 4200$ Дж/кг·К [11].
21. Число Прандтля для P_2 , $Pr_2 = \frac{c_2 \mu_2}{\lambda_2} = \frac{4200 \cdot 0,0015}{0,6} = 10,5$.
22. Число Нуссельта для P_2 [12, 2]:
 $Nu_2 \approx 0,021 \cdot Re^{0,8} Pr^{0,43} \approx 0,021 \cdot 16666^{0,8} \cdot 10,5^{0,43} = 137,6$
23. Коефіцієнт тепловіддачі для P_2 , $\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{D} = \frac{137,6 \cdot 0,6}{0,025} = 3303$ Вт/м²·К.
24. Сума теплових опорів P_1 і P_2 :
 $\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{2623} + \frac{1}{3303,6} = (3,8 + 3,03) \cdot 10^{-4} = 6,83 \cdot 10^{-4}$ м²·К/Вт.
25. Тепловий опір забруднень в трубопроводі,

$$r = \frac{1}{4000} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт} [2, \text{ с. 48 (табл. 2.2)}].$$

26. Сума теплових опорів P_1 і P_2 , включаючи опори забруднень з двох боків рекуперативної стінки:

$$\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{2623} + \frac{1}{3303,6} + 2 \cdot \frac{1}{4000} = (3,8 + 3,03 + 5) \cdot 10^{-4} = 11,83 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт}.$$

Як бачимо, в даному прикладі тепловий опір металевої стінки $0,57 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт}$ приблизно в 7 разів менший, ніж теплові опори кожної з Л плівок зі сторони виноградного соку P_1 і зі сторони «льодяної води» P_2 (рис. 1). Якщо розглянути цю систему в сукупності, то загалом, термічний опір Л плівок

більший від термічного опору металевої стінки у $n = \frac{R_1 + R_2}{R_c} = \frac{6,68 \cdot 10^{-4} + 4,55 \cdot 10^{-4}}{0,57 \cdot 10^{-4}} = 19,7$ рази. Такими

величинами не можна нехтувати при розрахунку та підборі теплообмінної апаратури. А між тим, при виборі теплообмінного обладнання, його тепловий і гідравлічний розрахунок [3, с. 45–85] не враховують теплових опорів Л плівок, а лиш термічний опір забруднень, що складає для теплообмінників з циркуляцією води середньої якості $r = \frac{1}{4000} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт}$ [3, с. 48 (табл. 2.2)].

З розрахунків бачимо, що загалом справджується співвідношення (6) (пункт 13 і 26 розрахунку), тобто:

$$\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \approx \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + 2r; 1,23 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт} \approx 11,83 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт};$$

Наводимо такий розрахунок для пластинкового теплообмінника на прикладі охолодження вершків.

При охолодженні вершків переважно використовують пластинкові теплообмінники з поверхнею однієї пластини $f = 0,6 \text{ м}^2$ із нержавіючої сталі. Товщина пластини $b = 1 \text{ мм}$; Нехай, число пластин $N = 136$ при самому простому компонуванні Сх:68/68 [2, с. 71]; Температура вершків P_1 ($t = 25^\circ\text{C}$). Жирність вершків – 35 %. Температура «льодяної води», P_2 ($t = 6^\circ\text{C}$). Швидкість руху P_1 і $P_2 - v_{c1} = v_{c2} \approx 0,1 \text{ м} / \text{с}$ [2, с.71].

1. Еквівалентний діаметр каналів в міжпластинковому просторі $d_E = 0,0083 \text{ м}$. [19, с. 63].

2. Густина вершків, $\rho_f = 991 \text{ кг} / \text{м}^3$ [10, с.118].

3. Коефіцієнт динамічної в'язкості вершків, $\mu_f = 0,0088 \text{ Па} \cdot \text{с}$, [13, 10, с. 120 - 125].

4. Коефіцієнт теплопровідності вершків, $\lambda_f = 0,313 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$ [11, с. 120].

5. Число Рейнольдса для вершків (P_1), $Re_1 = \frac{v_{c1} d_E \rho}{\mu_f} = \frac{0,1 \cdot 0,0083 \cdot 991}{0,0088} = 93$.

6. Коефіцієнт Дарсі для вершків (пл. $f = 0,6$), $\xi = \frac{15}{Re_1^{0,25}} = \frac{15}{93^{0,25}} = 4,8$ [3, с.72].

7. Товщина Л плівки для P_1 з [8, с. 151], $\delta_1 = \frac{30 \cdot d_E}{\sqrt{\xi} Re_1} = \frac{30 \cdot 0,0083}{\sqrt{4,83} \cdot 93} = 1,22 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

8. Тепловий опір Л плівки P_1 , $R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{1,22 \cdot 10^{-3}}{0,313} = 38,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт}$.

9. Густина «льодяної води», $\rho_2 = 1000 \text{ кг} / \text{м}^3$ [10].

10. Коефіцієнт динамічної в'язкості «льодяної води», $\mu_2 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$, [10].

11. Коефіцієнт теплопровідності «льодяної води», $\lambda_2 = 0,6 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$ [10].

12. Число Рейнольдса для води (P_2), $Re_2 = \frac{v_{c2} d_E \rho}{\mu_2} = \frac{0,1 \cdot 0,0083 \cdot 1000}{0,0015} = 553$.

13. Коефіцієнт Дарсі для води (площа пластини $f = 0,6$) $\xi = \frac{15}{Re_2^{0,25}} = \frac{15}{553^{0,25}} = 3,1$ [3, с.72].

14. Товщина Л плівки для P_2 з [8, с. 151], $\delta_1 = \frac{30 d_E}{\sqrt{\xi} Re_2} = \frac{30 \cdot 0,0083}{\sqrt{3,1} \cdot 553} = 0,26 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

15. Тепловий опір Л плівки P_2 , $R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,26 \cdot 10^{-3}}{0,6} = 4,27 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт}$.

16. Сума теплових опорів двох Л шарів, $\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} = (38,9 + 4,27) \cdot 10^{-4} = 43,17 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

17. Коефіцієнт теплопровідності нержавіючої сталі, $\lambda = 17,5 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ [3, с. 70].

18. Тепловий опір металевої стінки $R_c = \frac{b}{\lambda} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{17,5} = 0,57 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

19. Теплоємність P_1 , $c_1 = 4019 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$ [10, с. 118].

20. Число Прандтля для P_1 , $Pr_1 = 148$ [10, с. 118].

21. Число Нуссельта для P_1 в пластинковому теплообміннику [3, с. 70],

$Nu \approx 0,135 Re_1^{0,73} Pr_1^{0,43} = 0,135 \cdot 93^{0,73} \cdot 148^{0,43} = 19,2$

22. Коефіцієнт тепловіддачі для P_1 , $\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_E} = \frac{19,2 \cdot 0,313}{0,0083} = 724 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$.

23. Теплоємність P_2 , $c_2 = 4200 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$ [11].

24. Число Прандтля для P_2 , $Pr_2 = \frac{c_2 \mu_2}{\lambda_2} = \frac{4200 \cdot 0,0015}{0,6} = 10,5$.

25. Число Нуссельта для P_2 [3, с.70]

$Nu \approx 0,135 Re_1^{0,73} Pr_1^{0,43} = 0,135 \cdot 553^{0,73} \cdot 10,5^{0,43} = 30$.

26. Коефіцієнт тепловіддачі для P_2 , $\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_E} = \frac{30 \cdot 0,6}{0,0083} = 2131 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$.

27. Сума теплових опорів P_1 і P_2 , включаючи опори забруднень з двох боків стінки пластини:

$\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + 2r = \frac{1}{724} + \frac{1}{2130,9} + 2 \cdot \frac{1}{2000} = (13,8 + 4,69 + 10) \cdot 10^{-4} = 28,49 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$.

Для даного розрахунку термічний опір Л плівок для вершків і «льодяної води» складає (пункт 16 розрахунку) $R_{пл} = 43,17 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

При цьому зауважимо, що сума теплових опорів середовищ P_1 і P_2 за класичним розрахунком є в 1,5 рази меншою за суму теплових опорів обох Л шарів по обидві сторони пластини теплообмінника. Такий розрахунок ще раз підтверджує тезу про те, що загальний коефіцієнт теплопередачі системи, що представлена на рисунку 1, доцільно розраховувати не за рівністю (4), а за співвідношенням (7), яке враховує термічні опори Л приграничних шарів, особливо, коли мова йде про рідкофазну сировину з високим коефіцієнтом динамічної в'язкості. Як бачимо, при охолодженні вершків «льодяною водою» тепловий опір Л плівок більший від теплового опору металевої стінки у $n = \frac{R_1 + R_2}{R_c} = \frac{38,9 \cdot 10^{-4} + 4,27 \cdot 10^{-4}}{0,57 \cdot 10^{-4}} = \frac{43,17 \cdot 10^{-4}}{0,57 \cdot 10^{-4}} = 75,7$ рази. Аналогічну картину спостерігаємо при тепловій обробці цілого ряду харчових продуктів та напівфабрикатів, що суттєво впливає на економію енергоресурсів підприємства. Це стосується, насамперед, виробництва молока та молокопродуктів, соків, пива та іншої рідкофазної сировини [14].

Виходячи з вищенаведеного нами [9] запропоноване співвідношення для розрахунку загального коефіцієнта теплопередачі системи (7):

$$K = \frac{1}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{b}{\lambda} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} \quad (7)$$

З наведеного розрахунку можна констатувати, що тепловий опір Л плівок складає 98 % теплового опору системи середовище P_1 – стінка – середовище P_2 і що тепловий опір рідкофазних середовищ P_1 і P_2 можна замінити в розрахунку опором Л шарів, що виникають за Т або П режиму руху рідин в пристінній області рекуперативного теплообмінника. Крім цього, з наведених розрахунків бачимо, що особливої уваги слід приділяти рідинам з високим коефіцієнтом динамічної в'язкості, наприклад вершкам, оскільки при цьому маємо відносно малі значення чисел Рейнольдса, а отже високі значення товщин Л плівок. Вказані негативні тенденції особливо відчутно проявляються при охолодженні, оскільки при високих температурах коефіцієнт динамічної в'язкості всіх рідин суттєво зменшується. На ці особливості вказують і інші автори. При пастеризації вершків у пластинкових теплообмінниках, особливо на стадії охоло-

дження, можуть виникати термічні опори в Л плівках, які на 2 порядки перевищують термічні опори металевих стінок [7, с. 122–124].

Згідно представлених обчислень, теплообмінне обладнання, яке розраховується і вибирається для конкретного технологічного процесу теплової обробки рідкофазних харчових продуктів не враховує термічні опори Л приграничних шарів рідинних теплоносіїв, що виникають внаслідок існування приграничного шару на границі контактування твердого тіла–рідини (ТТ- Р) (стінка теплообмінника – теплоносій).

Якщо розглянути це питання в масштабах країни, де працюють десятки тисяч пастеризаторів та інших теплообмінників, то питання зменшення теплових опорів систем теплопередачі виявляється на сьогоднішній день своєчасним і актуальним.

Слід зауважити, що говорячи про систему рідина – рідина (рис. 1) по обидві сторони рекуперативного теплообмінника, до цього часу ми керувалися тільки змінами чисел Рейнольдса, тобто запропонувавши новий підхід до розрахунку загального коефіцієнта теплопередачі з врахуванням Л приграничних шарів на мікрорівні, оцінюємо ці процеси традиційними методами – макропоказниками, змінами чисел Рейнольдса. Не заперечуючи традиційних методів, хочемо запропонувати дещо інший підхід до цієї проблеми.

Нами запропонована концепція розгляду всіх гідромеханічних процесів із врахуванням сил поверхневого натягу на межі контакту ТТ- Р [15]. Оскільки мова йде про приповерхневий шар на мікрорівні, нами розглядаються критерії Ейлера, Фруда та Рейнольдса в цьому Л шарі. При цьому, нами введений поверхневий критерій, що є відношенням сил поверхневого натягу до сил інерції в межах Л шару [15]. Значення цього критерію на декілька порядків перевищують значення чисел Рейнольдса та Фруда, що говорить про домінуючий вплив сил поверхневого натягу в приповерхневому шарі.

$$P_0 = \frac{1}{N} \frac{2\pi \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\mu V_x} \quad (8)$$

де N – видозмінене число Рейнольдса в Л шарі ($N = \frac{\rho V_x l}{\mu} \approx 10,47 - 11,5$) [7, с. 94]; v_x – швидкість притічних шарів рідини, що відповідає напруженню сили тертя на межі рідина – стінка, м/с (в літературі відома назва «швидкість тертя» динамічна швидкість); σ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини, Н/м; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини, Па·с; $\cos \theta$ – поверхнева гідрофільність твердого тіла (стінки трубопроводу).

В роботі [16] нами було встановлений числовий діапазон поверхневого критерію P_0 (96,39–112,56) для водних розчинів аніонних поверхнево-активних речовин (ПАР). Показано, що мінімальне значення поверхневого критерію спостерігається при оптимальних концентраціях ПАР.

Для визначення числових значень поверхневого критерію водних розчинів неіоногенних ПАР нами зроблено серію експериментів, в якості ПАР використовувались октилфенілполіепоксидат (Triton X-100) та моноалкільний ефір поліетиленгліколю на основі первинних жирних спиртів (ОС-20).

На рис. 3–4 показані залежності коефіцієнта поверхневого натягу та коефіцієнта динамічної в'язкості від концентрації неіонних ПАР.

На кривих залежності коефіцієнта поверхневого натягу від концентрації ПАР є екстремуми, які відповідають критичним концентраціям міцелоутворення. Точка ККМ для октилфенілполіепоксидату (Triton X-100) спостерігається при концентрації 0,0646–0,065 мас.%, а для моноалкільного ефіру поліетиленгліколю на основі первинних жирних спиртів (ОС-20) за концентрації 0,165–0,170 мас.%. За цих концентрацій коефіцієнт поверхневого натягу σ зменшився у 2,14 та 1,63 рази відповідно. Однак максимальне зменшення коефіцієнта поверхневого натягу спостерігається за концентрації 0,646–0,650 мас.% для октилфенілполіепоксидату (Triton X-100) та (0,23÷0,240) мас.% моноалкільного ефіру поліетиленгліколю на основі первинних жирних спиртів (ОС-20). Швидкість в пристінних шарах за цих концентрацій зросла у 0,7 та 0,8 рази відповідно.

Числові значення поверхневого критерію

— для води +(0,646÷0,650) мас.% октилфенілполіепоксидату:

$$P_0 = \frac{1}{N} \frac{2\pi \sigma \cos \theta}{\mu v_x} = \frac{1}{10,5} \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 31,47 \cdot 10^{-3} \cdot 0,975}{1,265 \cdot 10^{-3} \cdot 0,167} = 86,88.$$

– для води + (0,23÷0,240) мас.% моноалкільного ефіру поліетиленгліколю на основі жирних спиртів:

$$P_0 = \frac{1}{N} \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\mu v_x} = \frac{1}{10,5} \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 44,69 \cdot 10^{-3} \cdot 0,952}{1,2720 \cdot 10^{-3} \cdot 0,143} = 138,40;$$

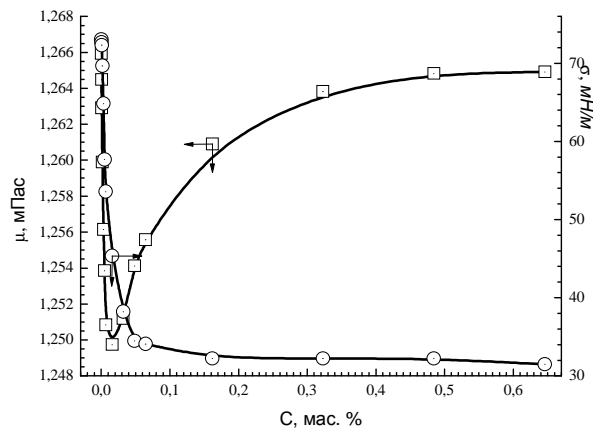


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта поверхневого натягу σ та коефіцієнта динамічної в'язкості μ від концентрації октилфенілполіепоксидату (Triton X-100) у воді

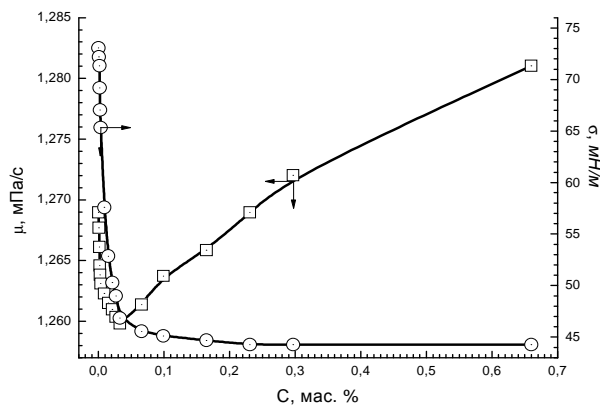


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта поверхневого натягу σ та коефіцієнта динамічної в'язкості μ від концентрації моноалкільного ефіру поліетиленгліколю на основі первинних жирних спиртів (OC-20) у воді

Отже, введення оптимальних концентрацій ПАР в холодоносії зменшує коефіцієнт його поверхневого натягу, середня товщина приповерхневого шару є мінімальною, середня швидкість в цьому шарі є максимальною, а числове значення поверхневого критерію – мінімальне.

В подальших наших роботах іде нагромадження матеріалу стосовно використання поверхневого критерію до оцінки пріоритетності силових факторів в межах приграничного Л шару при тепловій обробці молока.

Література

1. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств. – Одеса. –2008. – Полиграф. – 244 с.
2. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А Носков // Л.: Химия, 1987. – 575 с.

3. Основные процессы и аппараты химической технологии (Пособие по проектированию) / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 493 с.
4. Петухов Б.С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах. – М.: Энергия, 1967. – 412 с.
5. Nusselt W. Die Abhengigkeit der Wermerbergangszahl von der Rohrlinge // Ztschr. d. VDI. – 1910. – № 27. – Bd 54.– S. 1154 –1158.
6. Михеев М.А. Основы теплопередачи. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 392 с.
7. Кук Г.А. Процессы и аппараты молочной промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1973 . – 767 с.
8. Угинчус А.А. Гидравлика и гидромашини: Учебник. – Харьков. – Издательство Харьковского госуниверситета им. А.М. Горького, 1960. – 858 с.
9. До питання розрахунку коефіцієнта теплопередачі теплообмінної апаратури / Ю.Л. Білонога, Б.Р. Ціж ,О.Р. Максисько, Ю.Ю. Варивода // Науковий вісник ЛНАВМ ім. С.З.Гжицького. – 2005. – Т.7, (№.2), Частина 6. – С. 3–7.
10. Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов / И.А. Чубик, А.М. Маслов. – М.: Пищевая промышленность, 1970. – 184 с.
11. Барановский Н.В. Пластинчатые теплообменники пищевой промышленности. – М: Mashgiz, 1962. – 428 с.
12. Войтко А.М. Исследование теплопроводности и вязкости виноградного сока / Р.И. Ковалева // Консервная и овощесушильная промышленность, 1966. – №10.
13. Богданов С. Вязкость сливок в зависимости от температуры и жирности / С. Богданов, Б. Го-чияев // Молочная промышленность. – 1961. – №6. – С. 33–36.
14. Технология пищевых производств / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Л.П. Ковальской. – М.: Колос, 1997. – 752 с.
15. Білонога Ю.Л. Про доцільність розгляду гідромеханічних процесів з урахуванням сил поверхневого натягу на границі контакту тверде тіло-рідина // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2006. – №2. – С. 56–64.
16. Білонога Ю.Л., Максисько О.Р. Зміна гідромеханічних і теплофізичних характеристик теплоносія в приграничному шарі під дією поверхнево-активних речовин (ПАР) // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2009. – №2. – С. 121–126.

Bibliography (transliterated)

1. Burdo O.G. Jenergeticheskij monitoring pishhevyyh proizvodstv. – Odesa. –2008. – Poligraf. – 244 p.
2. Pavlov K.F. Primery i zadachi po kursu processov i apparatov himicheskoy tehnologii K.F. Pavlov, P.G. Romankov, A.A Noskov L.: Himija, 1987. – 575 p.
3. Osnovnye processy i apparaty himicheskoy tehnologii (Posobie po proektirovaniju) Pod red. Ju.I. Dytnerskogo. – М.: Himija, 1991. – 493 p.
4. Petuhov B.S. Teploobmen i soprotivlenie pri laminarnom techenii zhidkosti v trubah. – М.: Jenergiya, 1967. – 412 p.
5. Nusselt W. Die Abhengigkeit der Wermerbergangszahl von der Rohrlinge Ztschr. d. VDI. – 1910. – # 27. – Bd 54.– p. 1154 –1158.
6. Miheev M.A. Osnovy teploperedachi. – М.-Л.: Gosjenergoizdat, 1956. – 392 p.
7. Kuk G.A. Processy i apparaty molochnoj promyshlennosti. – М.: Pishhevaja promyshlennost', 1973 . – 767 p.
8. Uginchus A.A. Gidravlika i gidromashiny: Uchebnik. – Har'kov. – Izdatel'stvo Har'kovskogo gosuniversiteta im. A.M. Gor'kogo, 1960. – 858 p.
9. Do pitannja rozrahunku koeficienta teploperedachi teploobminnoj aparaturi Ju.L. Bilonoga, B.R. Cizh ,O.R. Maksis'ko, Ju.Ju. Varivoda Naukovij visnik LNAVМ im. S.Z.Gzhic'kogo. – 2005. – Т.7, (#.2), Chastina 6. – p. 3–7.
10. Spravochnik po teplofizicheskim harakteristikam pishhevyyh produktov i polufabrikatov I.A. Chubik, A.M. Maslov. – М.: Pishhevaja promyshlennost', 1970. – 184 p.
11. Baranovskij N.V. Plastinchatye teploobmenniki pishhevoj promyshlennosti. – М: Mashgiz, 1962. – 428 p.
12. Vojtko A.M. Issledovanie teploprovodnosti i vjazkosti vinogradnogo soka R.I. Kovaleva Konservnaja i ovoshhesushil'naja promyshlennost', 1966. – #10.
13. Bogdanov S. Vjazkost' slivok v zavisimosti ot temperatury i zhirnosti S. Bogdanov, B. Go-chijaev Molochnaja promyshlennost'. – 1961. – #6. – p. 33–36.

14. Tehnologija pishhevyyh proizvodstv Pod red. d-ra tehn. nauk, prof. L.P. Koval'skoj. – M.: Kolos, 1997. – 752 p.

15. Bilonoga Ju.L. Pro docil'nist' rozgljadu gidromehanichnih procesiv z urahuvannjam sil poverhnevogo natjagu na granici kontaktu tverde tilo-ridina Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – 2006. – #2. – p. 56–64.

16. Bilonoga Ju.L., Maksis'ko O.R. Zmina gidromehanichnih i teplofizichnih harakteristik teplonosija v prigranichnomu shari pid dieju poverhnevo-aktivnih rechovin (PAR) Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – 2009. – #2. – p. 121–126.

УДК 664:661.12]. 021.3

Билонога Ю.Л., Билонога Д.М., Максисько О.Р., Бухкало С.И.

**К ВОПРОСУ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
В ЖИДКОФАЗНЫХ СРЕДАХ ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Представлен алгоритм расчета теплообменной аппаратуры пищевых производств с учетом термического сопротивления приграничных ламинарных слоев. Проанализирована формула для расчета общего коэффициента теплопередачи теплообменной аппаратуры, учитывающая термическое сопротивление приграничных ламинарных слоев. Представлен модернизированный тепловой расчет теплообменников. Показано, что в ламинарном приповерхностном слое доминируют силы поверхностного натяжения теплоносителей и поэтому целесообразно использование поверхностного критерия.

Bilonoha Y.L., Bilonoha D.M., Buhkalo S.I., Maksysko O.R.

**TO THE QUESTION OF THE POWER EFFECTIVE OF THE HEAT – EXCHANGE PROCESSES
IN THE LIQUIDPHASES MEDIUM OF THE FOOD INDUSTRY**

The algorithm for the calculation of the heat – exchange equipments of the food manufactures with the consideration of the thermal resistanse of the border laminar layers was proposed. The formula for the calculation of the universal coefficient of the heat transmission in the heat – exchange equipment, which consider the thermal resistanse of the border laminar layers was analysed. The moderenize heat calculation of the heat –exchanger equipments is presented. It was shown, that forses of the surfase strain of the heat bearers are prevailed in the border laminar layer and that is why the surfase criterion is expedient.

ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ЇЇ ПЕРЕДАЧІ ТА РОЗПОДІЛЕННІ

Тенденції росту тарифів на електричну енергію обумовлюють значне збільшення складової вартості втрат електроенергії в мережах при її передачі та розподіленні. Особливої актуальності це набуває в мережах 10/0,4 кВ, що обумовлено їх протяжністю, розгалуженістю.

Зменшення складової вартості втрат електроенергії можливе лише шляхом оптимізації структури мереж під час реконструкції існуючих мереж електропостачання.

Реконструкція енергосистем включає розв'язок наступних задач:

- проектування та обґрунтування економічно доцільних та технічно оптимальної структури систем електроспоживання;
- використання нового та високонадійного (з малими експлуатаційними втратами) електрообладнання та сучасних засобів захисту;
- використання сучасних систем обліку та управління енергосистемою.

Ключовою задачею при формуванні оптимальної структури мережі електропостачання є задача визначення кількості джерел живлення та розподіл за ними приймачів електроенергії, а також улаштування проміжних вузлів навантаження (рівнів розподільчої мережі).

Основні підходи при вирішенні задач побудови оптимальної структури мережі електропостачання базуються на використанні оціночних та оптимізаційних моделей [1]. Перші служать для визначення техніко-економічних показників для заданого проектувальником варіанту мережі. Другі – для визначення оптимального варіанту конфігурації мережі в межах прийнятих проектувальником допусків у відповідності до прийнятого критерію оптимальності. При цьому в оптимізаційних моделях потрібно враховувати дискретність частини величин (переріз проводів та кабелів, потужність та кількість трансформаторів, кількості приєднань до РП).

Зрозуміло, що оптимальність рішень в значній мірі залежить від кваліфікації та досвіду проектувальника, який використовує оціночні та оптимізаційні моделі для проектування оптимальної структури розподільчих мереж окремо.

Аналіз існуючих методів рішення задач визначення кількості джерел живлення та розподіл за ними приймачів електроенергії показав, що об'єднати оціночні та оптимізаційні моделі можливо на основі метода еквіпотенційних контурів [2].

Суть методу еквіпотенційних контурів полягає в проведенні аналогії між навантаженням приймачів (P_i), розташованих в точках $(x_i; y_i)$, та потенціалами деяких джерел енергії, розташованих у тих же точках. Потенціали цих джерел дорівнюють навантаженням приймачів. При віддаленні від точки розташування приймача потенціал від джерела, розташованого у тій самій точці, буде зменшуватися та в деяких віддалених точках потенціал буде близький до нуля. Сукупність всіх потенціалів джерел енергії утворює потенційну поверхню, яку можна описати потенційною функцією

$$P(x, y) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot e^{-1 \cdot \alpha_{\Delta P_i} [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]}, \tag{1}$$

де $\alpha_{\Delta P_i}$ – коефіцієнт, що враховує втрати потужності від джерела живлення до приймача

$$\alpha_{\Delta P_i} = \frac{P_i^2 \cdot \rho}{U^2 \cdot F(P_i)}, \tag{2}$$

де ρ – питомий опір матеріалу провідника; $F(P_i)$ – переріз провідника визначається як функція від потужності що передається; U_i – напруга; P_i – потужність приймача.

Використання запропонованого коефіцієнту $\alpha_{\Delta P_i}$ вираз (2), дає можливість одразу оцінити ступінь майбутніх втрат у провідниковому матеріалі при визначенні центру електричних навантажень. Крім того запропоновано використання замість еквіпотенційних контурів, як критерію, «потенційний» та «технічний» критерії формування вузлів навантаження (критерії відбору).

Функція (1) є основою для «потенційного» критерію відбору за яким на потенційній поверхні, що утворює функція, визначається точка максимуму потенціалу. Ця точка в подальшому виступає в ролі

центра електричних навантажень. Приймачі, які будуть отримувати живлення від цього центру електричних навантажень за «потенційним» критерієм визначаються як приймачі, що брали участь у формуванні максимуму функції (1). Ці приймачі зараховуються до «потенційної» групи.

«Потенційна група» є закінченим структурним елементом майбутньої розподільчої мережі, але той факт, що при формуванні «потенційної» групи було враховано лише розташування приймачів по відношенню один до одного та очікувані втрати електричної енергії в розподільчій мережі не дає можливості впровадити «потенційну» групу в майбутню розподільчу мережу, тому що окрім врахованих факторів ще необхідно провести узгодження майбутньої «потенційної» групи з можливим конструктивним виконанням вузла навантаження.

Для вирішення цієї задачі використовується «технічний» критерій. «Технічний» критерій відбору виконує функцію узгодження приймачів «потенційної» групи з можливим конструктивним виконанням її джерела живлення. Критерій діє на основі принципу надлишковості «потенційної» групи по відношенню до граничних умов «технічного» критерію. Тобто зі сформованої «потенційної» групи вибираємо електроприймачі, при яких завантаження джерела живлення буде оптимальним. Виконується це наступним чином: «потенційна» група сортується за ступінню небажаності відносно точки максимуму потенціалу. Ступінню небажаності виступає потенціал джерела, або втрата потужності. На основі взаємодії «потенційного» та «технічного» критеріїв відбору складається алгоритм методу, який представлено на рисунку 1.

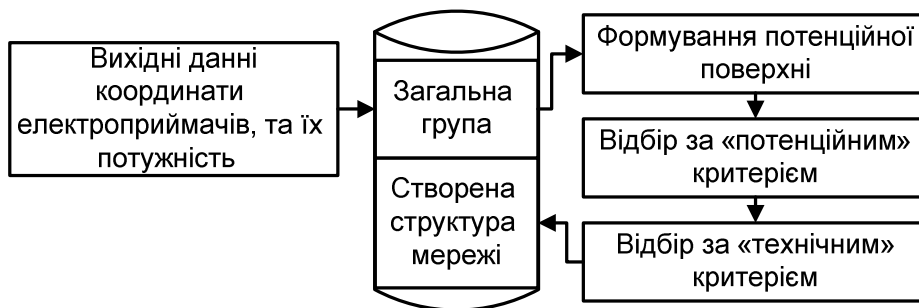


Рисунок 1 – Алгоритм методу (взаємодія критеріїв відбору)

Принцип роботи алгоритму базується на утворенні зворотніх зв'язків, які охоплюють обидва критерії та створюють умови для становлення алгоритму як самоорганізуючої моделі побудови структури мережі. Так як в цьому випадку будуть використовуватися оціночні та оптимізаційні моделі одночасно, отримане рішення буде більш наближене до оптимуму та з меншим впливом елементів суб'єктивізму проектувальника.

Розглядаючи критерії відбору як граничні умови функціонування моделі, запропонований підхід дає можливість закладення до них дискретність конструктивних умов виконання структури мережі і, чим повніше перенесені ці умови у критерії відбору, тим більше можливостей побудувати оптимальну структури мережі.

Використовуючи властивість запропонованого підходу, за яким джерелом живлення, а також електроприймачем можуть виступати вузли будь-яких рівнів системи електропостачання, можливо виконати декомпозицію окремих ділянок потенційної поверхні задля утворення в межах цих зон проміжних вузлів навантаження. Це дозволяє на рівні системи електропостачання, з якого починається розрахунок, розглядати ці проміжні вузли навантаження як приймачі електричної енергії. При цьому приймачі, що приєднуються до цього проміжного вузла навантаження, безпосередньо не враховуються на потенційній поверхні, тобто виключаються, але потужність, яку вони споживають, враховується на початковому рівні через потужність проміжного вузла навантаження.

Доцільність влаштування проміжних вузлів навантаження визначається за методом на основі оціночної моделі, вихідні данні для якого (приймачі, для яких можливе улаштування проміжних вузлів навантаження) визначаються за трьома признаками: «за сильною технічною групою»; «за слабкою технічною групою»; «за частиною сильної групи» [3].

Під терміном «сильна технічна група» розуміється група електроприймачів, сформована за «технічним» критерієм, яка має оптимальний коефіцієнт завантаження джерела живлення, виходячи з умов надлишковості. Під терміном «слабка технічна група» розуміється група електроприймачів, сформована за «технічним» критерієм, яка сформована за умови недостатності та коефіцієнтом завантаження джерела живлення меншим за прийнятний. Під терміном «частина сильної групи»

розуміється група електроприймачів «сильної групи», яка виділена з неї за додатковими критеріями (наприклад, показник розкиду навантаження, який використовується в тензорному методі) [4].

Техніко-економічний розрахунок базується на порівнянні двох варіантів виконання локальної ділянки структури мережі, границі якої визначаються за наведеними вище трьома признаками. Перший варіант з проміжним вузлом навантаження, другий без проміжного вузла навантаження. Прийняття варіанта з проміжним вузлом навантаження виконується за умовою

$$C_I + \Delta W_I \cdot K_{CP} < C_{II} + \Delta W_{II} \cdot K_{CP}, \quad (3)$$

де C_I, C_{II} – капітальні вкладення для першого та другого варіанту відповідно; $\Delta W_I, \Delta W_{II}$ – річні втрати енергії: для першого та другого варіанту відповідно; K_{CP} – коефіцієнт, що враховує пріоритет втрат електричної енергії над капітальними вкладеннями

$$K_{CP} = T_O \cdot c_1 + \sum_{i=2}^{T_O} (c_i - c_1), \quad (4)$$

де T_O – строк окупності (в місяцях); c_1 – вартість електричної енергії в перший місяць; c_i – вартість електричної енергії в i -й місяць.

Таким чином метод порівняльної оцінки передбачає аналіз локальної ділянки структури мережі із визначенням ряду технічно доцільних варіантів її виконання та подальше порівняння цих варіантів між собою за критерієм питомих витрат. Менш витратний з цих варіантів і буде найбільш оптимальним за техніко-економічними показниками.

Для мережі, сформованої споживачами «сильної групи» доцільність формування вузла навантаження проявляється у випадках відносно великої віддаленості та скученості споживачів, коли витрати на радіальну розподільчу мережу від підстанції (п/ст) до споживачів будуть більші за сумарні витрати на живлячу мережу від п/ст до розподільчого пристрою (РП) та на розподільчу мережу від РП до споживачів.

На цьому базується принцип побудови алгоритму визначення проміжних вузлів навантаження, який базується на методиці [5,6]. Ця методика дає відповідь на задачі про оптимальний розподіл приймачів електроенергії за заданим числом джерел живлення з визначенням місць розташування останніх в центрах навантажень груп та про оптимальне число джерел живлення для заданої множини приймачів електроенергії.

Згідно до цієї методики, необхідно передбачити можливість встановлення джерел живлення (вузлів навантаження) для групи споживачів та розподіл між ними споживачів мають бути оптимальними. Для вирішення даної задачі уся множина споживачів розподіляється на S груп. Передбачається, що кожна із цих груп буде отримувати живлення від власного вузла навантаження. Для першого варіанту мережі S обирається рівним 2, для другого – 3 і так далі, поки кількість груп не стане рівною $n-1$, де n – загальна кількість споживачів (при числі $S = 1$ отримуємо один вузол навантаження, від якого будуть отримувати живлення усі споживачі, тобто ту саму радіальну мережу, а при числі $S = n$ отримуємо вузли навантаження із одним приєднанням кожен, що не має практичного сенсу і фактично знову повертає нас до тієї ж радіальної мережі). Для кожного з цих варіантів визначається найбільш оптимальний розподіл споживачів на групи.

Методика приведена у [5,6] була розроблена для визначення джерел живлення у групі приймачів, тобто основним критерієм був розкид навантаження у групах, при цьому зневажалися витрати на живлячу мережу. Натомість, у рамках поставленої задачі, витрати на живлячу мережу будуть співвідносні із витратами на розподільчу мережу, тому що передача енергії відбувається на одному рівні напруги без трансформацій та довжина мереж майже однакова. В зв'язку з цим алгоритм [5,6], було дещо вдосконалено.

Перш за все було додано процедуру коригування центру електричних навантажень (ЦЕН) з врахуванням витрат на живлячу мережу, оскільки за нових умов розміщення вузла навантаження є найбільш раціональним вже не у центрі навантажень, а, так би мовити, у «центрі витрат», тобто у точці де сумарні витрати на розподільчу та живлячу мережі досягають найменшого значення. Ця точка буде дещо зміщена від ЦЕН у бік джерела живлення

«Сильною групою» споживачів на рівні напруги 0,4 кВ можна вважати групу трифазних та однофазних приймачів електроенергії, які отримують живлення від ТП напругою 0,4 кВ. Система електропостачання такого об'єкту має ряд технологічних особливостей. Перш за все, це велике скупчення приймачів на досить малій території. Відстань між ЕП відносно невелика і зазвичай вони об'єднані у один технологічний процес. Якщо немає особливих вимог до безпеки, розподільча мережа такого рівня виконується алюмінієвими проводами з полімерною ізоляцією, а також низьковольтними кабелями. Їх вартість порівняно невелика і у даному випадку першочерговою складовою витрат постають електричні втрати у провідниковому матеріалі, адже струми у низьковольтній мережі значно вищі, ніж у мережах середньої напруги.

Проміжними вузлами навантаження можна вважати силові розподільчі пункти (СП), до яких підключаються групи приймачів і до яких силовим кабелем підводиться живлення від розподільчого пристрою цехової ТП. Комутація електричних кіл здійснюється автоматичними вимикачами. Також можуть застосовуватися СП, обладнані запобіжниками, що ще більше знижує їх вартість, але не завжди допустимо.

Так само, по закінченні оптимізації кожного варіанту, необхідно проводити комплексний аналіз мережі та розформувати ті вузли навантаження, які за витратами перевищують радіальну схему живлення.

«Слабка група» представляє собою навантаження відносно віддалене від центрів живлення та невелике за потужністю. Приєднання споживачів цієї групи до джерела із максимальним ККД і, відповідно, максимально допустимим коефіцієнтом завантаження, призведе до необхідності збільшення джерела живлення при зменшенні його коефіцієнта завантаження. Так наприклад «слабкі групи» виникають при проектуванні електропостачання агропромислового комплексу. Для такої групи характерні великі втрати в лініях електропередач (ЛЕП) та їх значна довжина, а також спільність технологічних процесів. Тому, зазвичай, на таких територіях виявляється найбільш доцільним встановлення проміжних вузлів навантаження, які будуть отримувати живлення від найбільш вигідного джерела.

Таким чином при початковому проектуванні джерела живлення формуються за методом еквіпотенційних поверхонь із забезпеченням найбільшого ККД. «Слабка група» цей показник погіршує та унеможливує проведення безпомилкових розрахунків за вище вказаним методом. Тому першочерговою метою розрахунків є визначення такого джерела, збільшення потужності якого буде найбільш виправданим. Метод порівняльної оцінки дозволяє вирішити таку задачу досить просто та одразу може розрахувати варіант структури мережі, який буде найкращим за економічними показниками, оскільки основним критерієм цього методу є питомі витрати, а не екстремуми потенційної функції.

Моделювання розрахунку «слабкої групи» відбувається аналогічно до попередніх прикладів. Група споживачів, для якої необхідно визначити оптимальну конфігурацію системи електропостачання, так само розподіляється на S груп ($S = 2, 3, 4, \dots, n-1$) і визначається склад цих груп за критерієм розкиду навантаження [5,6]. Після завершення групування схожий цикл повторюється вже відносно живлячих ТП та щойно сформованих вузлів навантаження та оцінюється пріоритетність їх підключення до тої чи іншої ТП. Після цього сформовані таким чином ТП знову переоцінюються: якщо потужність навантаження ТП не задовольняє показник завантаження трансформатора ($K_{зг} = 0,7 \dots 0,85$), то деякі вузли від'єднуються від ТП за «критерієм бажаної належності».

Детальна блок-схема алгоритму методу з урахуванням проміжних вузлів навантаження наведена на рисунку 2.

Даний алгоритм дозволяє не тільки автоматизувати побудову оптимальної структури розподільчої мережі з мінімізованими комунікаційними втратами, а й знизити розміри капітальних вкладень при побудові такої мережі за рахунок застосування проміжних вузлів навантаження (визначення їх оптимальної кількості та місця розташування).

Висновки. Використання метода «потенційної поверхні» дозволяє побудувати інженерні методики проектування оптимальної структури розподільчих мереж з мінімальними комунікаційними втратами, оцінити потенціал вже існуючих мереж, проводити їх моніторинг та оцінку ефективності їх роботи при реконфігурації, дозволяє провести оцінку капіталовкладень при реконструкції частини мережі, визначити місце розташування компенсуючих пристроїв проекрованої розподільчої мережі. Це призводить до зменшення втрат електроенергії при її передачі та розподіленні до 5 %.



Рисунок 2 – Алгоритм визначення проміжних вузлів навантаження у складі алгоритму на основі потенційної функції

Література

1. Электротехнический справочник. Общие вопросы. Электротехнические материалы/ под общ. ред. В.Г. Герасимова – 9-е изд. Стер. В 4-х томах М: Энергия, 2003.
2. Заболотный А.П., Федоса Д.В., Криворученко Н.Л., Яценко О.О. Формирование структуры распределительной сети методом потенциальных контуров, и возможности его усовершенствования. // Электротехника та електроенергетика – 2008. – № 2. – С. 71–74.
3. Заболотный А.П., Федоса Д.В., Мамбаева В.С. Построение оптимальной структуры сетей электроснабжения предприятий АПК. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Проблемы энергообеспечения предприятий АПК и сельских территорий»/ Санкт Петербург: СПбГАУ, 2008. – С. 42–46.
4. Федоров А.А., Садчиков С.В. Характеристики и алгоритмы формирования и отбора вариантов систем промышленного электроснабжения.– Электричество, 1982, №2.– с. 27–31.
5. Федоров А.А. Определение тела расстояние центра электрических нагрузок для оптимального размещения питающих подстанций промышленных предприятий / Каменева В.В., Хмель С.Р / Электричество.– 1974. – №8. – 31–34 с.
6. Федоров А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. /Федоров А.А., Каменева В.В. – М: Энергоатомиздат, 1984.– 473 с.

Bibliography (transliterated)

1. Jelektrotehnicheskij spravocchnik. Obshhie voprosy. Jelektrotehnicheskie materialy pod obshh. red. V.G. Gerasimova – 9-e izd. Ster. V 4-h tomah M: Jenergija, 2003.
2. Zabolotnyj A.P., Fedosha D.V., Krivoruchenko N.L., Jacenko O.O. Formirovanie struktury raspreditel'noj seti metodom potencial'nyh konturov, i vozmozhnosti ego usovershenstvovaniya. Elektrotehnika ta elektroenergetika – 2008. – # 2. – p. 71–74.
3. Zabolotnyj A.P., Fedosha D.V., Mambaeva V.S. Postroenie optimal'noj struktury setej jelektrosnabzhenija predpriyatij APK. Sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Problemy jenergoobespechenija predpriyatij APK i sel'skih territorij» Sankt Peterburg: SPbGAU, 2008. – p. 42–46.
4. Fedorov A.A., Sadchikov S.V. Harakteristiki i algoritmy formirovanija i otbora variantov sistem promyshlennogo jelektrosnabzhenija.– Jelektrichestvo, 1982, #2.– p. 27–31.
5. Fedorov A.A. Opredelenie tela rasstojanie centra jelektricheskikh nagruzok dlja optimal'nogo razmeshhenija pitajushhij podstancij promyshlennyh predpriyatij Kameneva V.V., Hmel' S.R Jelektrichestvo.– 1974. – #8. – 31–34 p.
6. Fedorov A.A. Osnovy jelektrosnabzhenija promyshlennyh predpriyatij. Fedorov A.A., Kameneva V.V. – M: Jenergoatomizdat, 1984.– 473 p.

УДК 621.316.11

Заболотный А.П., Мамбаева В.С., Федоша Д.В.

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЕЕ ПЕРЕДАЧЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИИ

В статье рассматриваются вопросы снижения потерь электрической энергии при ее передаче и распределении посредством оптимизации структуры сетей электроснабжения напряжением 10/0,4 кВ. Приведены алгоритмы определения числа и места расположения узлов нагрузок, выбора источника питания, определения промежуточных узлов нагрузки, построенных на основе метода потенциальной поверхности.

Zabolotnyj A.P., Mambaeva V.S., Fedosha D.V.

REDUCTION OF LOSSES IN ELECTRIC POWER TRANSMISSION AND DISTRIBUTION

This article discusses the reduction of energy losses in transmission and distribution by optimizing the structure of the electricity grid voltage 10/0,4 kV. The algorithms determine the number and location of units of loads, the choice of power source, the definition of intermediate load units, based on the method of potential surface.

ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями заключается в выборе научно-обоснованных методов переработки и конечной утилизации полимерных отходов различного происхождения и срока эксплуатации совместно с другими видами отходов, что позволит снизить, прежде всего, общее количество отходов подлежащих захоронению на свалках. Такой подход позволит использовать ресурсный потенциал этих видов отходов, а также создаст предпосылки для соблюдения нормативно-правовых, санитарно-экологических, экономических и организационных аспектов проблемы управления отходами в целом.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор. Возможности, тенденции и опыт обращения с твердыми бытовыми отходами (ТБО) в настоящее время, наглядно характеризует практика поведения с ТБО в странах Евросоюза, в частности, например, опыт Швеции:

1. утилизированы различными способами с целью получения изделий или других продуктов – 31 %;
2. сожжены на установках различного типа, которые дают неоднозначные, часто не контролируемые, продукты – 45 %;
3. подвержены биологической утилизации – 10 %;
4. размещены на полигонах 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 % общего выброса диоксинов связано со сжиганием отходов [1].

Справедливости ради, следует отметить, что, несмотря на скептический взгляд многих экспертов на строительство предприятий по сжиганию мусора, они все-таки должны иметь место. Это связано, прежде всего, с тем, что часть ТБО может быть утилизирована только таким способом, а также с тем, что такой способ утилизации позволит снизить долю ТБО размещенных на полигонах. Основная трудноразрешимая проблема таких установок – высокотоксичные выбросы газов и возникновение вторичных отходов – решается выбором соответствующих технологических режимов сжигания с целью получения различных видов топлива на более дешевых установках.

Министерство ЖКХ Украины подготовило проект распоряжения Кабинета министров «Об одобрении концепции государственной целевой экономической и научно-технической программы обращения с ТБО на 2010–2019 гг.» [1]. В результате реализации этого проекта планируется ежегодно получать 800 тыс. т бумаги, 600 тыс. т пластмасс и 800 тыс. т стекла с потенциальными доходами от реализации компонентов ТБО 1–1,5 млрд. грн. Следует отметить неоднородность и нестабильность состава ТБО, что обуславливает значительные трудности организации процесса их утилизации.

Резкий рост производства тары и упаковки начался в 20 веке и продолжается по настоящее время, меняя приоритеты в используемом сырье для этих целей – полимеры все больше вытесняют другие материалы. Одной из проблем утилизации ТБО, даже в такой области утилизации как полимерная тара и упаковка, является отсутствие в Украине информации о ее производстве и использовании, а также ее количестве. Основные тенденции роста производства упаковки в Украине, ее видов с точки зрения сырья для производства можно увидеть, например, из данных приведенных ТОВ «Інформаційно-аналітичний центр «Упаковка»» (табл. 1).

Таблица 1 – Тенденции роста упаковки в Украине

Вид материала	Количество используемой упаковки			
	2005 г.		2006 г.	
	млн. штук	тыс. т	млн. штук	тыс. т
Полимеры	9415,9	258,7	10734,1	294,9
Бумага	7429,8	1167,1	8024,2	1260,5
Стекло	3173,3	1404,0	3649,3	1614,6
Металл	886,5	124,7	939,7	132,2
Дерево	35,5	35,0	34,0	33,5

С учетом материальных и энергетических ценностей, заключенных в использованной упаковке, относительно небольшие затраты на ее переработку, определяют существенную экономию средств.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья. Создание качественных изделий из вторичных полимеров – одна из основных целей предприятий их выпускающих. Для достижения этих целей необходимо разрабатывать систему обеспечения качества, которая базируется на научном и производственном опыте, современных методах математического моделирования, а также научно-обоснованном методе выбора способа переработки полимерных отходов. Обеспечение качества – это емкое понятие, которое включает в себя все параметры процесса, которые в отдельности или вместе влияют на качество готового изделия. Это совокупность физико-химических, физико-механических, химических и других основных свойств сырья – полимерных отходов, и получаемых изделий из вторичных полимеров. Совокупность этих свойств используется с целью гарантирования соответствия свойств изделия требованиям нормативной документации [2].

Изложение основного материала исследований с полным обоснованием полученных научных результатов.

Работа, проводимая нами, была направлена на выбор научно-обоснованных методов переработки полиэтиленовых отходов различного срока эксплуатации. Этим целям можно достичь за счет проведения сравнительного анализа методов модификации вышеуказанных отходов. Нами проводилось определение оптимальных концентраций различного вида модифицирующих добавок для получения вторичного полиэтилена (ВПЭ) с улучшенными технологическими и физико-механическими показателями. В качестве параметра контроля выбрали: изменение показателя текучести расплава (ПТР, рис. 1) и физико-механические свойства полученного вторичного полиэтилена (табл. 2).

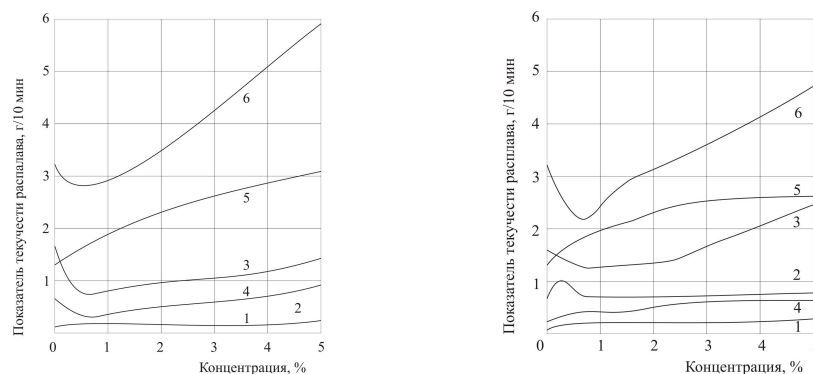


Рисунок 1 – ПТР композиций: 1, 2, 3 – температура 190 °С и соответственно нагрузки 21,5; 49,8 и 74,7 Н; 4, 5, 6 – температура 210 °С и соответственно нагрузки 21,5; 49,8 и 74,7 Н

При небольших нагрузках изменение текучести расплава очень незначительно. При температуре 210 °С и больших нагрузках происходит заметное увеличение показателя текучести расплава при сохранении физико-механических свойств (табл. 2), а при концентрациях стеарата бария 5 %, показатель текучести расплава приближается к значению первичного материала. Анализ свойств композиций со стеаратом бария с применением методов математического моделирования показывает, что оптимальная концентрация стеарата бария 1,0–1,5 %.

Таблица 2 – Физико-механические свойства вторичного полиэтилена модифицированного стеаратом бария

Состав композиций	Разрушающее напряжение при разрыве, МПа	Предел текучести при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
ВПЭ	10,7	11,0	180,4
ВПЭ+0,3 % СБ	10,1	10,1	169,2
ВПЭ+0,7 % СБ	11,0	10,5	234,0
ВПЭ+1,5 % СБ	10,4	10,0	213,0
ВПЭ+2,5 % СБ	10,0	9,9	130,0
ВПЭ+5,0 % СБ	11,4	10,4	60,0

Для модифицированных композиций реологическая кривая (рис. 2а) характеризуется практически прямопропорциональной зависимостью напряжения от скорости сдвига, что свидетельствует о воз-

возможности облегчения переработки материала и позволяет в более широком интервале технологических параметров регулировать процессы переработки. Общее повышение технологических свойств при введении модификаторов приводит к увеличению производительности в процессе гранулирования (рис. 2б), а также к повышению качества изделий.

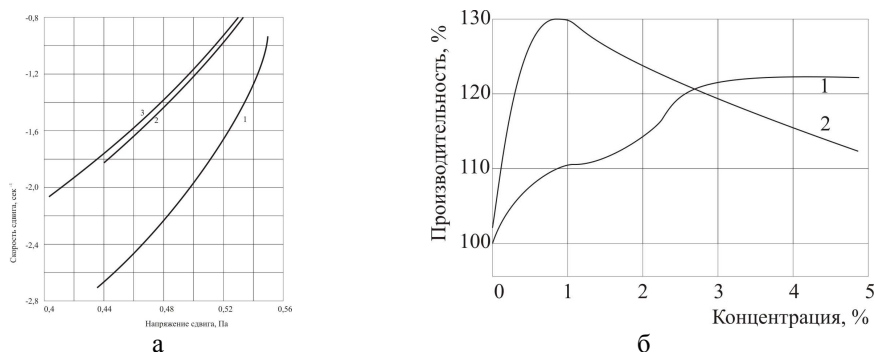


Рисунок 2 – Кривые течения композиций (а): 1 – ВПЭ; 2 – ВПЭ + 1 % СБ; 3 – ВПЭ + 2 % СБ; производительность процесса гранулирования композиций (б): 1 – ВПЭ + СБ; 2 – ВПЭ + полиэтилгидросилоксан

В настоящее время из известных методов использования полимерных отходов, наиболее перспективными с точки зрения ресурсосбережения является направление получения доброкачественных изделий из вторичных полимеров, в частности из изношенной полиэтиленовой пленки. Это позволяет расширить сырьевую базу для производства изделий и повышает эффективность использования сырья с учетом свойств отходов различного происхождения, их состава и возможности организованного сбора.

Для проведенного процесса модификации перекисью дикумила изношенного вторичного полиэтилена была разработана математическая модель с целью изучения влияния технологических параметров и концентрации перекиси дикумила на прочность литевых образцов и содержание гельфракции. В число влияющих факторов были включены температура литья $T(X1)$, длительность цикла литья ($X2$) и концентрация перекиси дикумила $C(X3)$. Из результатов экспериментов следует, что модификацию вторичного полиэтилена перекисью дикумила в процессе литья под давлением необходимо проводить в температурном интервале 170–210 °С в течение 65–85 с и при концентрации перекиси дикумила 0,1–0,4 %.

Максимальный показатель относительного удлинения при разрыве для процесса модификации вторичного полиэтилена перекисью дикумила можно получить исходя из полученного уравнения регрессии при переработке ВПЭ при максимальной температуре и концентрации перекиси, минимальной длительности цикла литья. Проведенные эксперименты и выведенное уравнение регрессии для процесса модификации вторичного полиэтилена перекисью дикумила при литье под давлением указывает на его большую чувствительность к длительности цикла литья, температурному воздействию и в меньшей степени, для данных концентраций перекиси, количеству перекиси. Знаки при членах уравнения соответствуют установившимся представлениям о роли основных факторов при модификации, а абсолютные значения коэффициентов регрессии указывают на вклад каждого из членов в формирование величины переменной состояния Y .

Таким образом, из перечисленных методов использования полимерных отходов, наиболее перспективным с точки зрения ресурсосбережения является направление получения и переработки вторичных полимеров с привлечением методов математического моделирования. Это позволит расширить сырьевую базу для производства изделий и повысить эффективность использования сырья на основе изучения свойств отходов различного происхождения, их состава, возможности организованного сбора и направленной модификации.

Анализ ситуации, к сожалению, пока в виртуальной отрасли утилизации различного вида отходов (ее еще необходимо создать) показывает потенциальную возможность повышения эффективности их использования с точки зрения ресурсо- и энергосбережения путем создания производственных комплексов (рис. 3).

Такие комплексы могут быть созданы:

- на базе предприятий крупнотоннажных производителей энергоносителей, например, коксохимзаводы и шахты – утилизация коксового газа или шахтаного метана;
- предприятий по выделению из ТБО отдельных видов потенциальных энергоносителей и др.

Эти энергоутилизационные производственные комплексы позволяют не только утилизировать различные выбросы предприятий или получать энергию из не подлежащих переработке отходов, но создать и перерабатывающие предприятия для различных видов отходов подлежащих переработке.

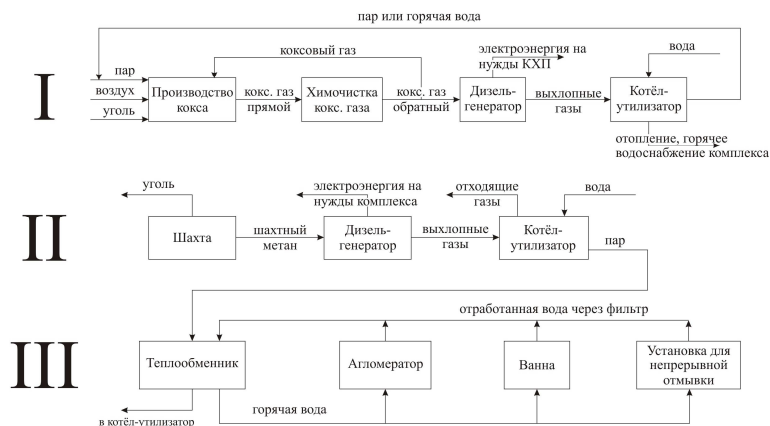


Рисунок 3 – Функциональная схема энергоутилизационного производственного комплекса

Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления. В настоящее время нет четкой классификации полимерных отходов с учетом нового, быстро развивающегося рынка. Необходимо разработать методы контроля изменения свойств в процессе эксплуатации различных видов полимеров, что позволит разработать технологические регламенты для их многократного использования полимеров. Только комбинация нескольких взаимосвязанных мероприятий по разработке методов сбора различных видов полимерных отходов и выбору научно-обоснованных методов их использования, а, следовательно, выбора метода переработки или утилизации может способствовать эффективному решению проблемы отходов. Из перечисленных методов использования полимерных отходов, наиболее перспективным с точки зрения ресурсосбережения является направление получения вторичных полимеров.

Проведенные исследования направлены на решение задач повышения эффективности использования отходов различных отраслей промышленности в едином комплексе предприятий, который обеспечивает все свои энергетические потребности самостоятельно. Такие комплексы в период высоких цен на энергоносители представляют для Украины важную и актуальную проблему государственного значения, которая непосредственно связана с внедрением энергосберегающих технологий, эффективным использованием энергоресурсов, предотвращением экологических катастроф.

Литература

1. Анализ возможности использования в Украине шведского опыта управления отходами : материалы VI Межд. конф. ["Сотрудничество для решения проблемы отходов"], (Харьков, 8–9 апреля 2009 г.) / Независимое агентство эколог. инф. – Х., 2009. – 290 с.
2. Бухкало С.И., Ольховская О.И., Борхович А.А. Оценка качества вторичных полимеров с помощью математической модели // Интегровані технології та енергозбереження. 2008. № 2. С. 51–55.

Bibliography (transliterated)

1. Analiz vozmozhnosti ispol'zovaniya v Ukraine shvedskogo opyta upravleniya othodami : materialy VI Mezhd. konf. ["Sotrudnichestvo dlja reshenija problemy othodov"], (Har'kov, 8–9 aprelja 2009 r.) Nezavisimoe agentstvo jekolog. inf. – H., 2009. – 290 p.
2. Buhkalo S.I., Ol'hovskaja O.I., Borhovich A.A. Ocenka kachestva vtorichnyh polimerov s pomoshh'ju matematicheskoy modeli // Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. 2008. # 2. p. 51–55.

УДК 678.073.002

Бухкало С.І.

МОЖЛИВОСТІ КОМПЛЕКСНОГО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ РЕСУРСОВО- Й ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

В статті наведені можливості вирішення задач підвищення ефективності використання відходів різних галузей промисловості на комплексному підприємстві, яке може забезпечувати усі свої енергетичні потреби самостійно.

Bukhhalo S.I.

POSSIBILITES OF COMPLEX SOLVING PROBLEMS RESOURCES AND ENERGY SAVING

The materials are presented the possibilites of solving problems of improving the use of wastes of different industries on a complex enterprise that can provide all its energy needs alone.

УДК 66.045.01

Арсеньєва О.П., ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., Перевертайленко А.Ю. Долгоносова Е.А.

ТЕПЛОВЫЕ И ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИН С МЕНЯЮЩИМСЯ ПО ДЛИНЕ ПЛАСТИНЫ СЕЧЕНИЕМ КАНАЛА

Главной особенностью конденсации чистых паров и паров из парогазовых смесей в условиях вакуума являются жесткие ограничения по потерям давления по стороне пара. В связи с этим использование для этого пластинчатых теплообменников традиционной конструкции, со стандартной постоянной площадью сечения канала по длине пластины, приводит к увеличению площади всего аппарата и, как следствие, его удорожанию. Альтернативой является применение пластинчатых конденсаторов с переменной площадью сечения канала – с более широкой вначале процесса конденсации на входе пара, и уменьшающейся по мере продвижения пара вдоль межпластинного канала.

Целью настоящей работы является изучение тепловых и гидромеханических характеристик каналов пластинчатых теплообменников с переменным сечением по длине пластины и сравнению их с имеющимися экспериментальными данными по теплоотдаче и гидравлическому сопротивлению для пластинчатых теплообменников с постоянным сечением каналов. Кроме того, был рассмотрен вопрос о целесообразности проектирования больших конденсаторов с каналами такого типа и увеличенными сечениями входных коллекторов.

Экспериментальная модель, представленная на рис.1 [1], состоит из четырех пластин, которые образуют три канала: центральный для конденсации вакуумных паров и два периферийных – для охлаждающей воды.

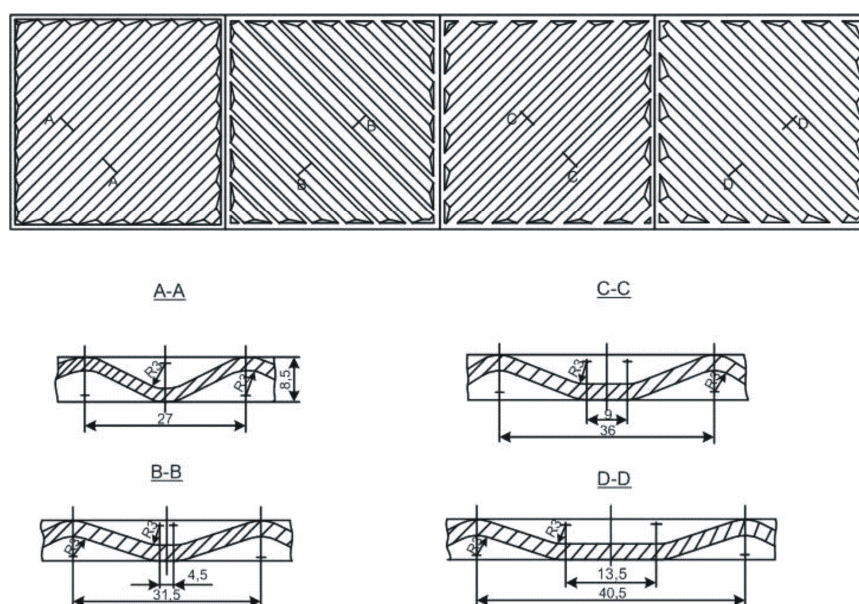


Рисунок 1 – Экспериментальная пластина конденсатора с переменной гофрировкой по длине пластины конденсатора с различной гофрировкой по длине

Пластина по длине состоит из четырех зон, в пределах каждой из которых треугольная гофрировка одинакова. Параметры гофрировки: шаг гофры – 27 мм; высота – 7,5 мм; угол наклона гофры к вертикали пластины – 45°. Отличие гофрированной поверхности по зонам состоит в наличии плоского участка между гофрами, который имеют ширину: 1 зона – плоский участок отсутствует; 2 зона – ширина плоского участка равна 1/6 шага гофры (4,5 мм); 3 зона – 1/3 шага гофры (9 мм); 4 зона – 1/2 шага гофры (13,5 мм).

Каналы на паровом участке образовывались совмещением (сверху вниз) на первом участке при контакте 1 и 4 зоны пластины, на втором 2 и 3 зон, на третьем – 3 и 2 зон и на четвертом – 4 и 1 зоны. Форма образующихся при этом поперечных сечений каналов представлена на рис. 2. Фактически по паровой стороне поперечное сечение канала все уменьшается от одного конца к другому, по стороне охлаждающей воды.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

ждающей воды наоборот увеличивается, и при этом, сумма площадей поперечных сечений двух соседних каналов остается постоянной и одинаковой для всех четырех зон. Геометрические параметры образующихся каналов, на всех зонах экспериментальной модели, представлены в табл. 1.

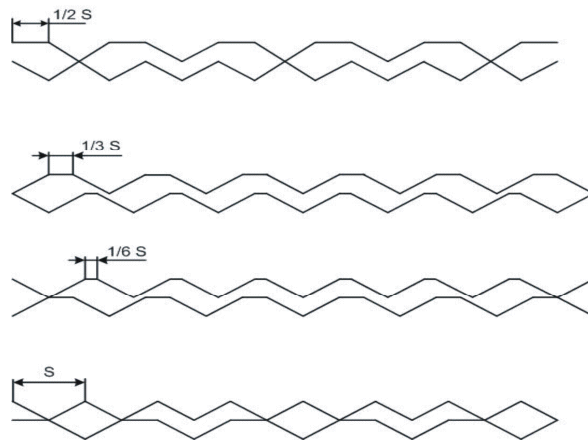


Рисунок 2 – Форма поперечных сечений образующихся каналов

Таблица 1 – Геометрические параметры каналов на зонах экспериментальной модели

№ участка	d_{ekv} , м	f_{ch} , м ²	L_{pr} , м	f_{pl} , м ²
1	0,01648	0,0021875	0,223	0,1198
2	0,01491	0,001977	0,223	0,11938
3	0,01338	0,001773	0,223	0,11938
4	0,01177	0,0015625	0,223	0,1198

Экспериментальные исследования проводились на установке, подробное описание которой приведено в работе [1]. Исследуемая модель канала, образованного пластинами, является составной частью пластинчатого вакуумного конденсатора, общий вид модели которого представлен на рис. 3.

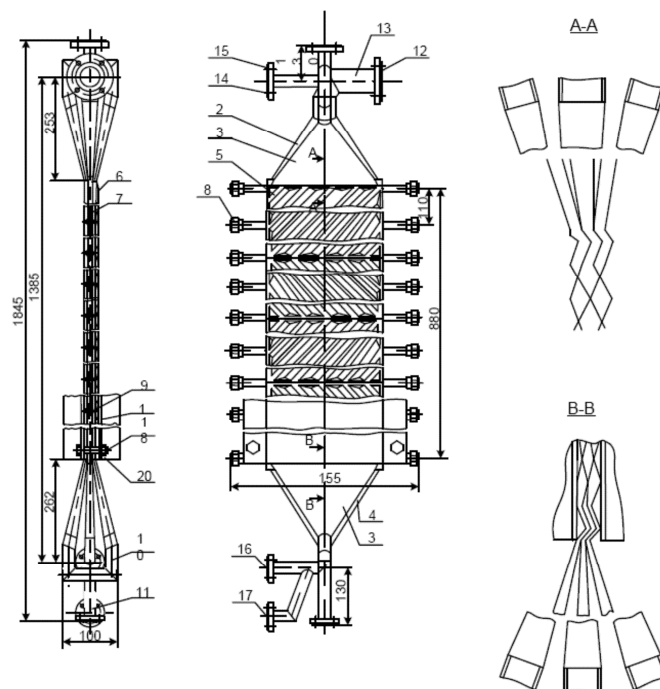


Рисунок 3 – Экспериментальная модель пластины с переменным по длине сечением канала

В результате обработки экспериментальных данных по гидравлическому сопротивлению однофазному потоку получены уравнения для расчета коэффициента гидравлического сопротивления единицы длины канала, для каждой из четырех зон.

Коэффициент гидравлического сопротивления единицы длины канала представлен в виде $\xi = B \cdot Re^{-m}$, где Re – число Рейнольдса. Значения B и m приведены в табл. 2. Общий вид экспериментальных данных и расчетных кривых для коэффициента гидравлического сопротивления ξ в логарифмических координатах представлен на рис. 4.

Таблица 2 – Значение B и m для расчета ξ по зонам пластины

Коэффициент	Номер зоны			
	1	2	3	4
B	2.25	2.486	2.725	3.066
m	0.17	0.17	0.17	0.17
A	0.121	0.124	0.129	0.135

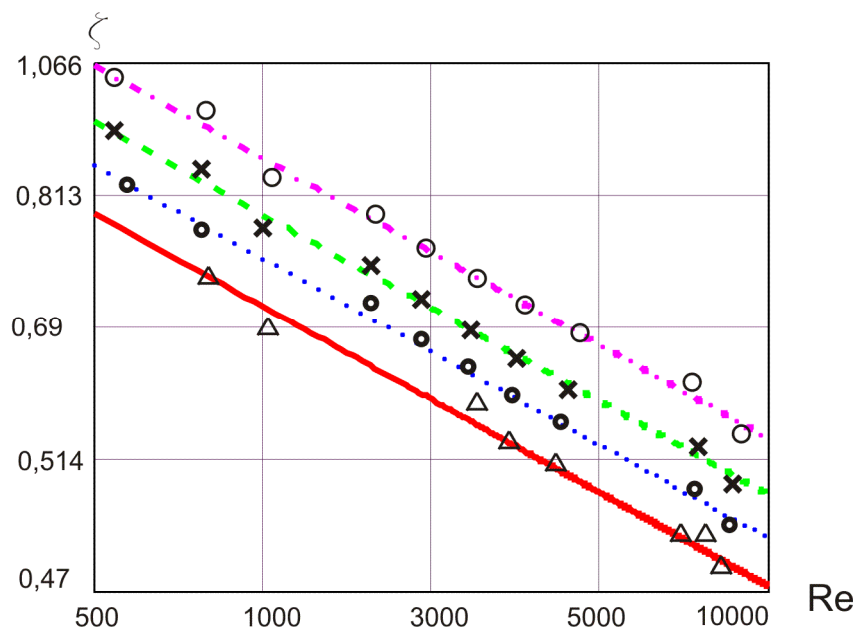


Рисунок 4 – Экспериментальные данные и расчетные зависимости для коэффициента гидравлического сопротивления

Для расчета числа Нуссельта использовалось для всех зон одно обобщенное выражение для всех четырех зон, имеющее вид

$$Nu = A \cdot Re^{0,73} Pr^{0,43} (Pr/Pr_w)^{0,25},$$

где A – эмпирические коэффициенты, для каждой зоны пластины, приведенные в табл.2; Pr и Pr_w – соответственно число Прандтля теплоносителя, и число Прандтля теплоносителя, рассчитанное для температуры стенки пластины. Обработка экспериментальных данных для различных зон показала не столь существенное отличие. Поэтому было принято решение целесообразно объединить все экспериментальные данные в одно уравнение. Таким образом, можно сделать вывод, что тепловая эффективность пластины с переменным сечением канала не снизилась по сравнению со стандартной формой канала и пластины.

Полученные данные о тепловых и гидромеханических характеристиках пластин легли в основу методики расчета, алгоритма и математического обеспечения для расчета конденсации вакуумного пара в пластинчатых теплообменниках с переменным сечением каналов.

Литература

1. Исследование тепловых и гидромеханических характеристик в каналах переменного сечения пластинчатых конденсаторов // Отчет по НИР.- 0156-83-912.- УкрНИИхиммаш – ХПИ.- Харьков, 1984.- 84 с.
2. Методика расчета пластинчатых паровых теплообменников / ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., КАПУСТЕНКО П.А., ХАВИН Г.Л., АРСЕНЬЕВА О.П. // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2002, №2.– С. 49–55.
3. Пластинчатые теплообменники в промышленности /Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, Г.Л. ХАВИН, О.П. АРСЕНЬЕВА. – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2004.– 232 с.

Bibliography (transliterated)

1. Issledovanie teplovyh i gidromekhanicheskikh harakteristik v kanalah peremennogo sechenija plastinchatykh kondensatorov Otchet po NIR.- 0156-83-912.- UkrNIImimmash – HPI.- Har'kov, 1984.- 84 p.
2. Metodika rascheta plastinchatykh parovykh teploobmennikov Tovazhnjanskij L.L., Kapustenko P.A., Havin G.L., Arsen'eva O.P. Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – Harkiv: NTU «HPI». – 2002, #2.– p. 49–55.
3. Platinchatye teploobmenniki v promyshlennosti L.L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, G.L. Havin, O.P. Arsen'eva. – Har'kov: NTU „HPI”, 2004.– 232 p.

УДК 66.045.01

Арсеньєва О.П., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО О.Ю., ДОЛГОНОСОВА О.О.

ТЕПЛОВІ І ГІДРОМЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИН З МІНЛИВИМ ПО ДОВЖИНІ ПЛАСТИНИ ПЕРЕТИНОМ КАНАЛУ

Наведено дані про експериментальні дослідження теплових та гідромеханічних характеристик пластин зі змінною величиною перерізу каналів уздовж пластини. Пластина складається з 4-ох зон, що утворюють канали з різним значенням площини. Одержані рівняння для розрахунку коефіцієнта гідравлічного опору одиниці довжини каналу для кожної зони пластини та визначена формула для підрахування числа Нуссельта. Одержані дані склали основу методики проектування вакуумних конденсаторів зі змінною величиною площі каналів.

Arsenyeva O., Tovazhnyansky L., Perevertaylenko O., Dolgonosova E.

THE HEAT AND HYDROMECHANICAL CHARACTERISTIC OF PLATES WITH VARIABLE CHANNELA PROFILE ALONG LENGTH OF PLATE

The experimental data of the heat and hydro-mechanical characteristics for plates with variable channels profile along plate length is presented. Plate consists of four zones. The equations for hydraulic resistance factor and Nusselt number every zone are obtained. These dates are basic for methods of design vacuum condensers with variable of channels square.

**ЛАМИНАРНИЙ ПОГРАНИЧНИЙ СЛОЙ ЗАКРУЧЕНОГО ПОТОКА
НА ПОРИСТОМ ЦИЛІНДРЕ ПРИ УСЛОВИИ ОТСОСА**

Введение

В настоящее время во многих технических приложениях используется отсос газа или жидкости через проницаемые поверхности. Отсос находит применение для управления пограничным слоем и снижения аэродинамического сопротивления путем затягивания перехода ламинарного режима движения в турбулентный. Процессы переноса вещества через стенку, аналогичные отсосу и вдуву, имеют место при наличии физико-химических превращений на поверхности обтекаемых тел (абляция, испарение, конденсация, сублимация, сепарация, фильтрование, мембранное разделение и т.д.) [1]. Гидродинамике на проницаемых поверхностях также посвящен ряд монографий [2, 3, 4, 5, 6].

Также активно в последнее время используются в технических приложениях закрученные потоки. Появилось значительное количество монографий, статей и обзоров, посвященных исследованию закрученных потоков. [7, 8]

Закрученный поток в осесимметричных каналах относится к группе пространственных течений в поле центробежных массовых сил. Закрутка потока создается специальными устройствами (завихрителями), которые расположены на входе в канал и придают потоку вращательную составляющую скорости [7].

Основная особенность закрученного потока – это соизмеримое отношение двух (осевой и тангенциальной), а в некоторых случаях и трех составляющих скорости, а также наличие поперечного (радиального) и продольного (осевого) градиентов давления.[8]

Местная закрутка потока широко используется во многих технических устройствах для организации и интенсификации различных процессов.

Изучение внутренних закрученных потоков имеет большое значение для теории трехмерного пограничного слоя. Наличие двух компонент напряжения трения, а также сходство свойств пристенного закрученного течения и пространственного пограничного слоя позволяет считать закрученный поток промежуточной стадией в разработке теории трехмерного пограничного слоя [7].

Постановка задачи

В статье рассматривается пограничный слой на пористой цилиндрической поверхности при условии отсоса закрученного потока жидкости с постоянными значениями продольной и тангенциальной (вращательной) компонент скорости на наружной границе пограничного слоя. Граничные условия на поверхности пористого цилиндра определены как постоянная радиальная составляющая скорости (отсос), и нулевые значения по продольной и тангенциальной составляющим скорости (без условия проскальзывания). Граничные условия на внешней границе пограничного слоя, исходя из конструктивных особенностей, определяются следующим образом: радиальная составляющая скорости определяется как приток жидкости через наружную поверхность пограничного слоя; тангенциальная и продольная составляющие постоянны по всей наружной границе пограничного слоя.

Решение

Общая система уравнений для вязкой несжимаемой жидкости [9]:

$$\frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left(\nabla^2 V_r - \frac{V_r}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial V_\varphi}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + V_z \frac{\partial V_\varphi}{\partial z} + \frac{V_r V_\varphi}{r} = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \nu \left(\nabla^2 V_\varphi - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} - \frac{V_\varphi}{r^2} \right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \varphi} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 V_z; \quad (3)$$

$$\frac{\partial(rV_r)}{\partial r} + \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial(rV_z)}{\partial z} = 0; \quad \nabla^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}. \quad (4)$$

Учитываем стационарность и осесимметричность:

$$V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left(\nabla^2 V_r - \frac{V_r}{r^2} \right); \quad (5)$$

$$V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_\varphi}{\partial z} + \frac{V_r V_\varphi}{r} = \nu \left(\nabla^2 V_\varphi - \frac{V_\varphi}{r^2} \right); \quad (6)$$

$$V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 V_z; \quad (7)$$

$$\frac{\partial(rV_r)}{\partial r} + \frac{\partial(rV_z)}{\partial z} = 0; \quad \nabla^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}. \quad (8)$$

Учитываем безградиентное течение:

$$V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} = \nu \left(\nabla^2 V_r - \frac{V_r}{r^2} \right); \quad (9)$$

$$V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_\varphi}{\partial z} + \frac{V_r V_\varphi}{r} = \nu \left(\nabla^2 V_\varphi - \frac{V_\varphi}{r^2} \right); \quad (10)$$

$$V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} = \nu \nabla^2 V_z; \quad (11)$$

$$\frac{\partial(rV_r)}{\partial r} + \frac{\partial(rV_z)}{\partial z} = 0; \quad \nabla^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}. \quad (12)$$

Граничные условия в пограничном слое:

$$\begin{aligned} V_r|_{r=R} = V_f = const; \quad V_\varphi|_{r=R} = 0; \quad V_z|_{r=R} = 0 \quad - \text{на пористой поверхности фильтра} \\ V_r|_{r=R+\delta} = \frac{V_f \cdot R}{R+\delta} = const; \quad V_\varphi|_{r=R+\delta} = const; \quad V_z|_{r=R+\delta} = const \quad - \text{на границе ламинарного пограничного} \\ \text{слоя.} \end{aligned}$$

Рассмотрим вариант, когда первые и вторые производные по z равны нулю. То есть компоненты скорости не зависят от z.

$$V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} = \nu \left(\nabla^2 V_r - \frac{V_r}{r^2} \right); \quad (13)$$

$$V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + \frac{V_r V_\varphi}{r} = \nu \left(\nabla^2 V_\varphi - \frac{V_\varphi}{r^2} \right); \quad (14)$$

$$V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} = \nu \nabla^2 V_z; \quad (15)$$

$$\frac{\partial(rV_r)}{\partial r} = 0; \quad \nabla^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}. \quad (16)$$

Уравнение для радиальной составляющей скорости:

$$V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} = \nu \left(\nabla^2 V_r - \frac{V_r}{r^2} \right) \rightarrow V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} = \nu \left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r^2} \right) \rightarrow \frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \left(\frac{1}{r} - \frac{V_r}{\nu} \right) \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r^2} = 0. \quad (17)$$

Из уравнения неразрывности следует:

$$\frac{\partial(rV_r)}{\partial r} = 0 \rightarrow V_r = \frac{V_f \cdot R_f}{r}, \quad (18)$$

где V_f – радиальная составляющая скорости (скорость фильтрации) на наружной поверхности пористого цилиндра, м/с; R_f – наружный радиус пористого цилиндра, м; r – радиус от оси цилиндра, м

Уравнение для тангенциальной (вращательной) составляющей скорости:

$$V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + \frac{V_r V_\varphi}{r} = \nu \left(\frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} - \frac{V_\varphi}{r^2} \right) \rightarrow \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial r^2} + \left(\frac{1}{r} - \frac{V_r}{\nu} \right) \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} - \left(\frac{1}{r^2} + \frac{V_r}{\nu \cdot r} \right) V_\varphi = 0; \quad (19)$$

$$\frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial r^2} + \left(\frac{1}{r} - \frac{V_r}{\nu} \right) \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} - \left(\frac{1}{r^2} + \frac{V_r}{\nu \cdot r} \right) V_\varphi = 0 \rightarrow \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \left(1 - \frac{V_f \cdot R_f}{\nu} \right) \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} - \frac{1}{r^2} \left(1 + \frac{V_f \cdot R_f}{\nu} \right) V_\varphi = 0; \quad (20)$$

$$\frac{d^2 V_\varphi}{dr^2} r^2 + \left(1 - \frac{V_f \cdot R_f}{\nu} \right) \frac{dV_\varphi}{dr} r - \left(1 + \frac{V_f \cdot R_f}{\nu} \right) V_\varphi = 0. \quad (21)$$

Решением дифференциального уравнения (21) будет [10]

$$V_\varphi = C_1 r^{\text{Re}+1} + C_2 r^{-1}, \quad (22)$$

где $\text{Re} = \frac{V_f R_f}{\nu}$ – по своей структуре является числом Рейнольдса радиального потока.

Постоянные интегрирования находим, исходя из граничных условий: при $r = R_f$; $V_\varphi = 0$; при $r = R_f + \delta$; $V_\varphi = V_{\varphi 1}$. Здесь R_f – наружный радиус пористого цилиндра; $r = R_f$; $V_\varphi = 0$; δ – толщина пограничного слоя или расстояние от поверхности пористого цилиндра до вращающихся лопастей или пронизываемого цилиндра, определяющих поле скоростей на границе пограничного слоя.

Тогда

$$C_1 = -\frac{V_{\varphi 1}(R_f + \delta)}{(R_f + \delta)^{\text{Re}+2} - R_f^{\text{Re}+2}}; \quad (23)$$

$$C_2 = \frac{V_{\varphi 1}(R_f + \delta) R_f^{\text{Re}+2}}{(R_f + \delta)^{\text{Re}+2} - R_f^{\text{Re}+2}}. \quad (24)$$

В выражение (22) подставляем (23) и (24)

$$V_\varphi = -\frac{V_{\varphi 1}(R_f + \delta)}{(R_f + \delta)^{\text{Re}+2} - R_f^{\text{Re}+2}} \cdot r^{\text{Re}+1} + \frac{V_{\varphi 1}(R_f + \delta) R_f^{\text{Re}+2}}{(R_f + \delta)^{\text{Re}+2} - R_f^{\text{Re}+2}} \cdot r^{-1}. \quad (25)$$

Для определения V_φ в уравнении (25) необходимо знать величину $V_{\varphi 1}$. Значение $V_{\varphi 1}$ можно определить исходя из граничного условия на внешней границе пограничного слоя. В рассматриваемом случае благодаря принудительной закрутке с постоянной скоростью на границе пограничного слоя $V_{\varphi 1} = \text{const}$. В общем случае для аппаратов с определенной геометрией и местной закруткой нами экспериментально определена тангенциальная составляющая скорости $V_{\varphi \delta}$ на внешней границе пограничного слоя в следующем виде:

а) прямоток

$$V_{\varphi \delta} = V_0 \cdot \cos \varphi_0 \cdot \exp \left(-2 \sqrt{\frac{D}{D-2R_f}} \cdot \frac{z^2}{L^2} \right); \quad (26)$$

б) противоток

$$V_{\varphi\delta} = V_0 \cdot \exp\left(-\sqrt{\frac{D}{D-2R_f}} \cdot \frac{z^2}{L^2}\right) \cdot \left[1 - (1 - \cos \varphi_0) \cdot \exp\left(-\sqrt{\frac{D}{D-2R_f}} \cdot \frac{z^2}{L^2}\right)\right], \quad (27)$$

где V_0 – величина скорости потока при сходе с лопаток завихрителя; φ_0 – угол схода потока с лопаток завихрителя; D – внутренний диаметр наружного цилиндра кольцевой полости; z – продольная координата; L – длина внутреннего пронцаемого цилиндра.

Уравнение для продольной составляющей скорости:

$$V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} = \nu \left(\frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) \rightarrow \frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \left(1 - \frac{V_f \cdot R_f}{\nu} \right) \frac{\partial V_z}{\partial r} = 0; \quad (28)$$

$$\frac{d^2 V_z}{dr^2} \cdot r + \left(1 - \frac{V_f \cdot R_f}{\nu} \right) \frac{dV_z}{dr} = 0. \quad (29)$$

Решением дифференциального уравнения (29) будет [11]

$$V_z = \frac{C_3}{\text{Re}} r^{\text{Re}} + C_4, \quad (30)$$

где $\text{Re} = \frac{V_f R_f}{\nu}$ – по своей структуре является числом Рейнольдса радиального потока.

Постоянные интегрирования находим, исходя из граничных условий: при $r = R_f$; $V_z = 0$; при $r = R_f + \delta$; $V_z = V_{z1}$. Здесь R_f – наружный радиус пористого цилиндра; δ – толщина пограничного слоя или расстояние от поверхности пористого цилиндра до вращающихся лопастей или пронцаемого цилиндра, определяющих поле скоростей на границе пограничного слоя.

Тогда

$$C_3 = \frac{V_{z1} \cdot \text{Re}}{(R_f + \delta)^{\text{Re}} - R_f^{\text{Re}}}; \quad (31)$$

$$C_4 = -\frac{V_{z1} \cdot R_f^{\text{Re}}}{(R_f + \delta)^{\text{Re}} - R_f^{\text{Re}}}. \quad (32)$$

В выражение (30) подставляем (31) и (32)

$$V_z = \frac{V_{z1}}{(R_f + \delta)^{\text{Re}} - R_f^{\text{Re}}} \cdot r^{\text{Re}} - \frac{V_{z1} \cdot R_f^{\text{Re}}}{(R_f + \delta)^{\text{Re}} - R_f^{\text{Re}}}. \quad (33)$$

Для определения V_z в уравнении (33) необходимо знать величину V_{z1} . Значение V_{z1} можно определить исходя из граничного условия на внешней границе пограничного слоя. В рассматриваемом случае благодаря принудительной закрутке с постоянной скоростью на границе пограничного слоя $V_{z1} = \text{const}$. В общем случае для аппаратов с определенной геометрией и местной закруткой нами экспериментально определена тангенциальная составляющая скорости $V_{z\delta}$ на внешней границе пограничного слоя в следующем виде:

а) прамток

$$V_{z\delta} = V_0 \cdot \exp\left(-\sqrt{\frac{D}{D-2R_f}} \cdot \frac{z^2}{L^2}\right) \cdot \left[1 - (1 - \sin \varphi_0) \cdot \exp\left(-\sqrt{\frac{D}{D-2R_f}} \cdot \frac{z^2}{L^2}\right)\right]; \quad (34)$$

б) противоток

$$V_{\varphi\delta} = V_0 \cdot \sin \varphi_0 \cdot \exp \left(-2 \sqrt{\frac{D}{D-2R_f}} \cdot \frac{z^2}{L^2} \right). \quad (35)$$

Таким образом, совокупность выражений (33), (34) и (35) полностью определяют поле скоростей в пограничном слое на поверхности пористого цилиндра.

Заключение

В статье решена задача определения поля скоростей ламинарного пограничного слоя закрученного потока жидкости на пористом цилиндре при условии отсоса. Граничные условия на внешней границе пограничного слоя, исходя из конструктивных особенностей, определяются следующим образом: радиальная составляющая скорости определяется как приток жидкости через наружную поверхность пограничного слоя; тангенциальная и продольная составляющие постоянны по всей наружной границе пограничного слоя. Получены аналитические выражения для радиальной, тангенциальной и продольной составляющих скорости жидкости в пограничном слое на поверхности пористого цилиндра. Полученное решение будет использовано для анализа сепарационных характеристик фильтрующих элементов при разделении закрученных потоков суспензий.

Литература

1. Ерошенко В.М., Зайчик Л.И. Гидродинамика и тепломассообмен на проницаемых поверхностях. М.: Наука, 1984.
2. Басин А.М., Короткин А.И., Козлов Л.Ф. Управление пограничным слоем судна: (Основные проблемы). Л.: Судостроение, 1968. 492 с.
3. Васильев Л.Л., Боброва Г.И., Танаева С.А. Пористые материалы в криогенной технике. Минск: Наука и техника, 1979. 224 с.
4. Козлов Л.Ф. Ламинарный пограничный слой при наличии отсасывания. Киев: Наукова думка, 1968. 196 с.
5. Кутателадзе С.С., Леонтьев А.И. Тепломассообмен и трение в турбулентном пограничном слое. М.,: Энергия.– 1972.– 342 с.
6. Романенко П.Н. Гидродинамика и тепломассообмен в пограничном слое: (справочник). М.: Энергия. 1974. 464 с.
7. Халатов А.А., Авраменко А.А., Шевчук И.В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил: в 4-х т.–Киев: Ин-т техн. Теплофизики НАН Украины, 2000.
8. Терновский И.Г., Кутепов А.М. Гидроциклонирование. – М.: Наука, 1994. – 350 с.
9. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука. – 1978. – 736 с.
10. Склабинский В.И. Расчет гидродинамики вихревого распыливающего противоточного массообменного аппарата // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 44. С. 52–55.
11. Камке Э. Справочник по дифференциальным уравнениям в частных производных первого порядка.// М.: Наука. – 1966.

Bibliography (transliterated)

1. Eroshenko V.M., Zajchik L.I. Hidrodinamika i teplomassoobmen na pronicaemyh poverhnostjah. M.: Nauka, 1984.
2. Basin A.M., Korotkin A.I., Kozlov L.F. Upravlenie pogranychym sloem sudna: (Osnovnye problemy). L.: Sudostroenie, 1968. 492 p.
3. Vasil'ev L.L., Bobrova G.I., Tanaeva S.A. Poristye materialy v kriogennoj tehnikе. Minsk: Nauka i tehnika, 1979. 224 p.
4. Kozlov L.F. Laminarnyj pogranychyj sloj pri nalichii otsasyvanija. Kiev: Naukova dumka, 1968. 196 p.
5. Kutateladze S.S., Leont'ev A.I. Teplomassoobmen i trenie v turbulentnom pogranychnom sloe. M.,: Jenergija.– 1972.– 342 p.
6. Romanenko P.N. Hidrodinamika i teplomassoobmen v pogranychnom sloe: (spravochnik). M.,: Jenergija. 1974. 464 p.
7. Halatov A.A., Avramenko A.A., Shevchuk I.V. Teploobmen i gidrodinamika v poljah centrobeznyh massovyh sil: v 4-h t.–Kiev: In-t tehn. Teplofiziki NAN Ukrainy, 2000.
8. Ternovskij I.G., Kutepov A.M. Hidrociklonirovanie. – M.: Nauka, 1994. – 350 p.

9. Lojczanskiy L.G. Mehanika zhidkosti i gaza. M.: Nauka. – 1978. – 736 p.
10. Sklabinskiy V.I. Raschet gidrodinamiki vihrevogo raspylivajushhego protivotochnogo mas-soobmennogo apparata Jekotehnologii i resursosberezhenie. – 1998. – # 44. p. 52–55.
11. Kamke Je. Spravochnik po differencial'nym uravnenijam v chastnyh proizvodnyh pervogo porjadka. M.: Nauka. – 1966.

УДК 66.067–9

Паккі Г.В., Ульєв Л.М.

**ЛАМІНАРНИЙ ПОГРАНИЧНИЙ ШАР ЗАКРУЧЕНОГО ПОТОКУ НА ПОРИСТОМУ ЦИЛІНДРІ
ЗА УМОВИ ВІДСМОКТУВАННЯ**

Визначено поле швидкостей пограничного шару закрученого потоку рідини на пористому циліндрі при умові відсмоктування. Отримані залежності для компонент швидкості від граничних умов на поверхні пористого циліндру та на зовнішній межі пограничного шару.

Pakki G.V., Ulyev L.M.

**LAMINAR BOUNDARY LAYER OF SWIRLED FLOW ON POROUS CYLINDER WITH SUBJECT
SUCTION**

Determined the velocity field of the boundary layer of swirling flow on a porous cylinder subject to suction. The dependencies for the components of liquid velocity on the boundary conditions on the surface of the porous cylinder and exterior boundary layer.

**ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ МАНЕВРЕННОСТИ,
УСТОЙЧИВОСТИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ ИСТРЕБИТЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕХВАТЕ
МАЛОСКОРОСТНЫХ ЦЕЛЕЙ**

На протяжении последних двух десятилетий наблюдается стойкая тенденция ко все более широкому использованию беспилотных авиационных комплексов (БпАК) во время войн и вооруженных конфликтов [1]. БпАК постепенно становятся альтернативой пилотируемым комплексам, которые имеют аналогичное назначение.

Активное использование БпАК во время боевых действий вызывает необходимость организации и ведения противодействия им. Основными способами противодействия БпАК являются уничтожение беспилотных летательных аппаратов (БпЛА) зенитными средствами и истребительной авиацией, а также радиоэлектронное подавление бортовой радиоэлектронной аппаратуры.

С учетом расширяющихся масштабов использования БпАК объем боевых задач по противодействию им истребителями будет увеличиваться. Увеличение объема этих задач в перспективе также будет вызвано необходимостью борьбы с истребительными БпЛА противника, которые будут входить в структуру смешанных сил тактической авиации и использоваться совместно с пилотируемыми ЛА.

Особенностями БпЛА как воздушных целей являются малая оптическая, радиолокационная, инфракрасная и акустическая заметность. Большинство БпЛА имеют крейсерскую скорость в диапазоне 140...170 км/час и поэтому относятся к малоскоростным целям. В тоже время эволютивная скорость полета истребителей составляет 300...400 км/час. Такое соотношение скоростей требует, при перехвате БпЛА, маневрирования истребителя на предельных режимах с максимальным использованием маневренных возможностей.

Таким образом, требования к маневренности, устойчивости и управляемости истребителя должны учитывать особенности, обеспечивающие успешное выполнение задачи перехвата и уничтожения малоскоростных БпЛА.

Цель данной работы состоит в разработке основ методического подхода к формированию требований к маневренным характеристикам и характеристикам устойчивости и управляемости перспективных и модернизируемых истребителей с учетом выполнения ими боевых задач перехвата и уничтожения БпЛА.

С учетом малой заметности малоскоростных БпЛА типовой боевой ситуацией при их уничтожении является ближний воздушный бой, а именно перехват воздушных целей истребителем. Перехват малоскоростного БпЛА истребителем включает в себя следующие этапы, приведенные на рисунке 1.

Исходя из перечисленных этапов, можно выделить следующие факторы, влияющие на перехват БпЛА (см. рисунок 2).

В данной работе рассматриваются факторы, связанные с маневренностью, устойчивостью и управляемостью истребителя.

Для обоснования перспективных требований к характеристикам маневренности, устойчивости и управляемости истребителя на первом этапе необходимо выполнить анализ истребителя как сложной технической системы (СТС), разработать структурированный иерархический набор параметров, характеристик и комплексных показателей истребителя.

Следующим этапом разработки требований является формирование рациональных параметров и характеристик маневренности, устойчивости и управляемости истребителя. Для этого используются метод экспертных оценок, математическое моделирование, летный эксперимент, аэродинамический эксперимент, ретроспективный анализ (см. рисунок 3). Этот этап включает в себя подэтап формирования требований к потребному управлению истребителя при выполнении типовых задач [2]. Разработка требований к потребному управлению истребителя возможна на основе математического моделирования и проведения летного эксперимента, так как предполагает решение задачи определения потребного отклонения органов управления на различных режимах полета.

На заключительном этапе формируются собственно требования к характеристикам маневренности, устойчивости и управляемости перспективного истребителя, которые зависят от параметрического облика его аэродинамической компоновки.

Формирование требований является итерационным процессом. После отработки заключительного этапа разработки требований оценивается возможность их осуществления в результате проведения опытно-конструкторской работы и, в случае необходимости, вносятся коррективы.

Остановимся более подробно на первом этапе обоснования требований. Рассмотрим истребитель как сложную техническую систему. Иерархическая структура СТС «истребитель» представляется в виде трех подсистем, исходя из специфики и сложности физических процессов, протекающих в полете: планер, силовая установка и комплекс бортового оборудования (рис. 4). В свою очередь, планер истребителя включает в себя: крыло, фюзеляж, оперение.

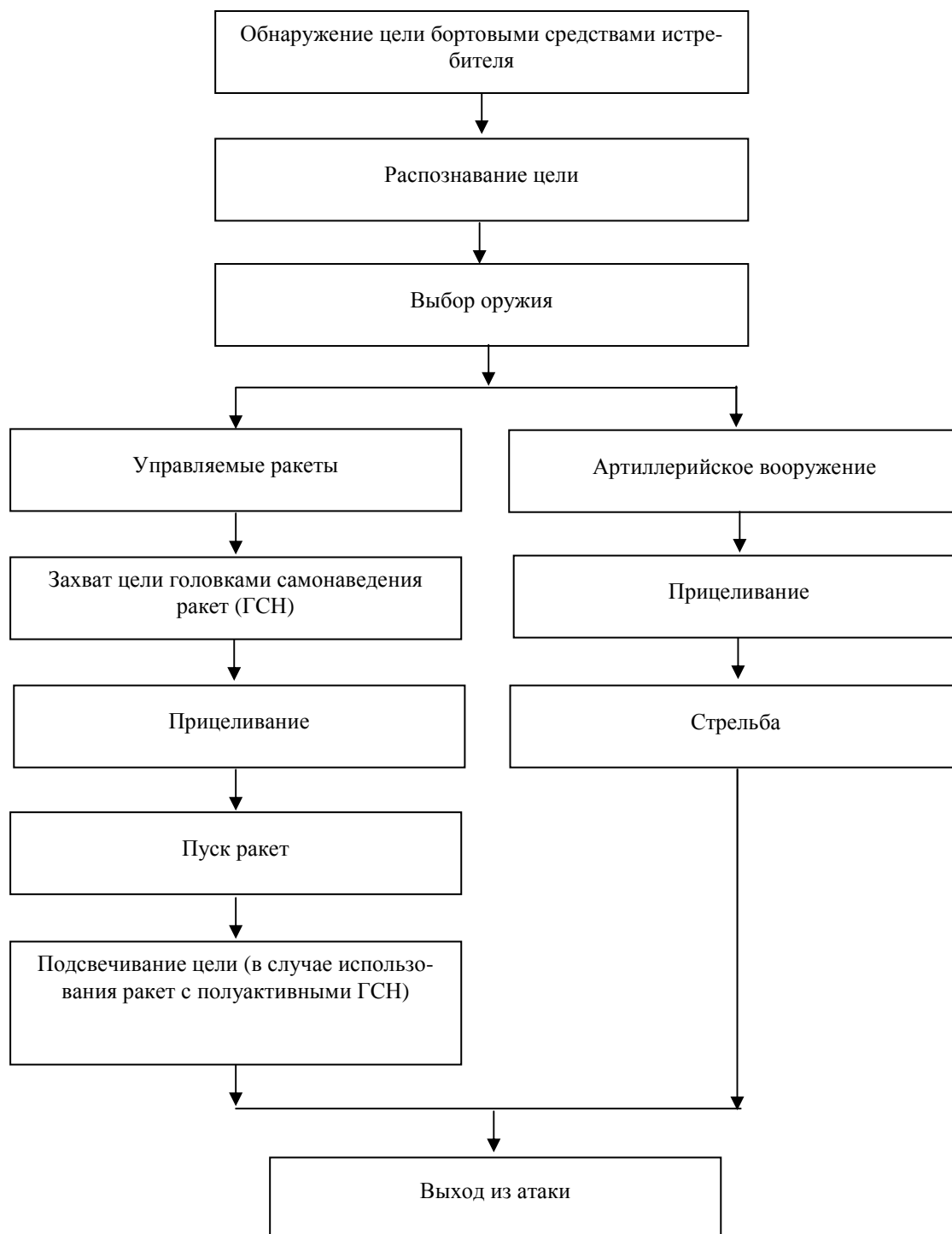


Рисунок 1 – Этапы перехвата малоскоростного БПЛА истребителем



Рисунок 2 – Факторы, влияющие на выполнение задачи перехвата БпЛА

Фюзеляжи современных истребителей выполнены несущими, способными создавать значительную часть подъемной силы летательного аппарата (ЛА). При этом используется так называемая «интегральная схема» сочленения крыла с фюзеляжем, позволяющая уменьшить силы трения и увеличить полезный объем [3].

Крыло также состоит из элементов, к которым относятся центроплан, консоли крыла, наплыв, органы поперечного управления, закрылки, носки, предкрылки.

Крылья современных истребителей имеют передний наплыв большой стреловидности. Наплыв является генератором вихревых жгутов, которые создают значительное дополнительное разрежение над крылом, что позволяет увеличить подъемную силу крыла. Кроме того, вихревые жгуты являются своеобразными «жидкими перегородками» и препятствуют распространению срыва потока по крылу.

Оперение включает в себя следующие элементы: кили, рули направления, дифференциальный стабилизатор. Многие современные истребители имеют двухкилевую схему вертикального оперения, что уменьшает затенение килей фюзеляжем и позволяет сохранить их эффективность до больших углов атаки.

Для оценки технического совершенства СТС «истребитель» необходимо провести формализацию ее структуры. В результате формализации СТС «истребитель» представляется формализованной моделью, представляющей собой многомерный массив показателей и набор функций, отражающих основные свойства подсистем и системы в целом [4].

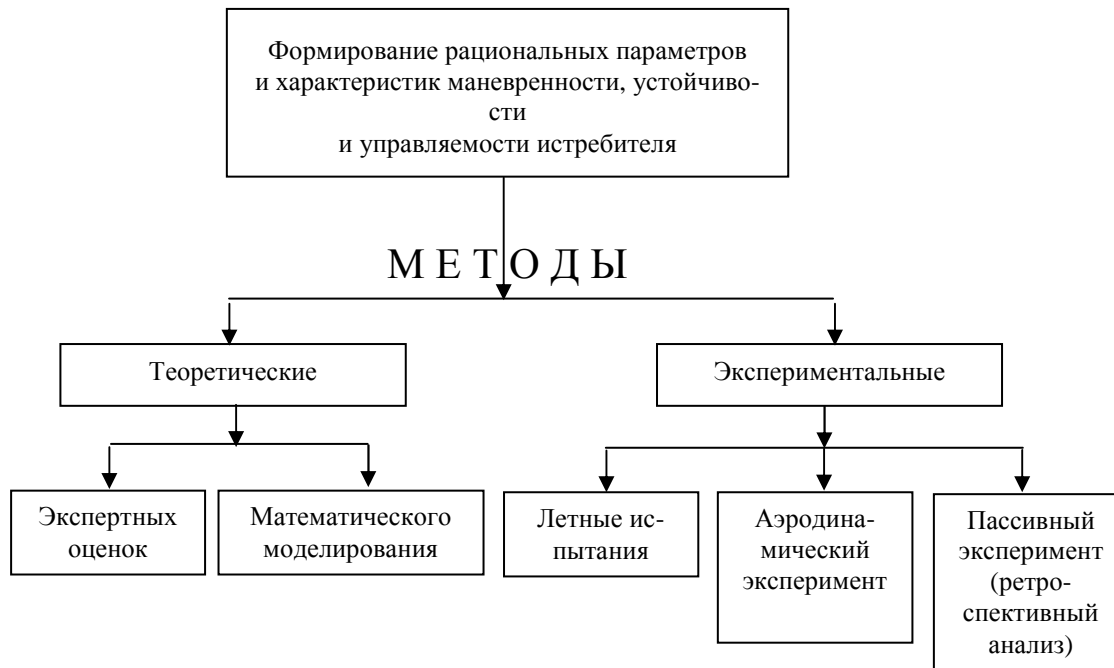


Рисунок 3 – Методы формирования рациональных параметров и характеристик маневренности, устойчивости и управляемости истребителя

Данный массив может быть представлен в виде:

$$\begin{cases} b_{i,j,\dots,m,n} \neq 0; \\ i \geq 0; j \geq 0; \dots; m \geq 0; n \geq 0; \\ i + j + \dots + m + n = M, \end{cases} \quad (1)$$

где i, j, m, n – количество подсистем или элементов на соответствующем иерархическом уровне; M – количество формальных параметров, характеризующих рассматриваемую СТС.

Для набора функций можем записать:

$$F_S(b_i, j, \dots, m, n; \Psi_1; \Psi_2; \dots; \Psi_\ell),$$

где Ψ_ℓ – различные факторы, включая прямые и обратные связи; S – число характеристик.

По плану базовые единичные показатели приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Базовые единичные показатели планера истребителя

№ п/п	Наименование параметра или показателя	Обозначение	Размерность
1	2	3	4
1.	центральная хорда крыла	b_0	м
2.	бортовая хорда крыла	$b_б$	м
3.	концевая хорда крыла	$b_к$	м
4.	средняя аэродинамическая хорда (САХ) крыла	b_A	м
5.	абсцисса носка САХ	X_A	м
6.	ордината носка САХ	Y_A	м
7.	размах крыла	ℓ	м
8.	площадь крыла	S	м ²
9.	максимальная толщина профиля	c	м

1	2	3	4
10.	максимальная вогнутость профиля	f	М
11.	абсцисса точки максимальной вогнутости профиля	x_f	м
12.	хорда поворотной консоли стабилизатора	$b_{ст}$	м
13.	средняя аэродинамическая хорда дифференциального стабилизатора	$b_{А ст}$	м
14.	хорда поворотной консоли стабилизатора по перпендикуляру к его оси вращения	$b_{ст\perp B}$	м
15.	средняя аэродинамическая хорда дифференциального стабилизатора по перпендикуляру к его оси вращения	$b_{А ст\perp B}$	м
16.	размах горизонтального оперения	$l_{г.о}$	м
17.	площадь горизонтального оперения	$S_{г.о}$	м ²
18.	габаритная площадь горизонтального оперения	$S_{г.о габ}$	м ²
19.	площадь вертикального оперения	$S_{в.о}$	м ²
20.	площадь закрылка	S_z	м ²
21.	площадь предкрылка	$S_{пр}$	м ²
22.	площадь миделевого сечения фюзеляжа	$S_{м.ф}$	м ²
23.	площадь поверхности фюзеляжа, омываемая потоком	$S_{ф}$	м ²
24.	площадь проекции боковой поверхности фюзеляжа на базовую плоскость	$S_{бок.ф}$	м ²
25.	местный угол крутки крыла	$\varphi_{кр}$	град.
26.	местный угол стреловидности по передней кромке крыла	$\chi_{п.к}$	град.
27.	местный угол стреловидности крыла по задней кромке крыла	$\chi_{з.к}$	град.
28.	местный угол стреловидности крыла по линии ¼ хорд	$\chi_{1/4}$	град.
29.	местный угол поперечного V крыла	Ψ	град.
30.	угол установки крыла	φ_0	град.
31.	угол стреловидности вертикального оперения	$\chi_{в.о}$	град.
32.	длина фюзеляжа	$l_{ф}$	м
33.	максимальный эквивалентный диаметр фюзеляжа	$d_{ф.э}$	м
34.	высота фюзеляжа	$h_{ф}$	м
35.	ширина фюзеляжа	$d_{ф}$	м
36.	хорда элерона	$b_э$	м
37.	хорда руля направления	$b_{н}$	м
38.	хорда элерона по перпендикуляру к оси вращения	$b_{э\perp}$	м
39.	хорда руля направления по перпендикуляру к оси вращения	$b_{н\perp}$	м
40.	размах элеронов	$l_э$	м
41.	размах предкрылков	$l_{пр}$	м
42.	размах закрылков	$l_з$	м
43.	площадь элеронов	$S_э$	м
44.	плечо горизонтального оперения	$L_{г.о}$	м
45.	плечо вертикального оперения	$L_{в.о}$	м
46.	угол стреловидности оси вращения закрылка	$\chi_з$	град.
47.	угол стреловидности оси вращения элерона	$\chi_э$	град.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

К удельным параметрам, характеризующим планер истребителя, относятся параметры, приведенные в таблице 2.

К известным комплексным показателям, характеризующим истребитель, относятся: коэффициент устойчивости по перегрузке σ_n , коэффициент устойчивости по скорости σ_v , коэффициент расхода усилий на перегрузку P^n , коэффициент расхода рычага управления на перегрузку X^n и др.

Таблица 2 – Удельные параметры, характеризующие планер истребителя

N п/п	Наименование параметра или показателя	Обозначение	Размерность
1	удлинение крыла	λ	–
2	удлинение предкрылка	$\lambda_{\text{пр}}$	–
3	удлинение закрылка	λ_3	–
4	сужение крыла	η	–
5	относительная хорда элерона по потоку	\bar{b}_3	–
6	относительная хорда элерона по потоку в начале элерона	\bar{b}_{30}	–
7	относительная хорда элерона по потоку в конце элерона	$\bar{b}_{3к}$	–
8	относительная хорда элерона по перпендикуляру к оси вращения	$\bar{b}_{3\perp}$	–
9	относительная хорда руля направления	\bar{b}_H	–
10	относительная площадь горизонтального оперения	$\bar{S}_{г.о}$	–
11	относительная габаритная площадь горизонтального оперения	$\bar{S}_{г.о \text{ габ}}$	–
12	относительная площадь вертикального оперения	$\bar{S}_{в.о}$	–
13	относительная площадь руля направления	\bar{S}_H	–
14	относительная площадь элеронов	\bar{S}_3	–

Разработка комплексных и интегрального показателя, характеризующего свойства планера с точки зрения устойчивости и управляемости истребителя, представляет собой отдельную задачу, базирующуюся на разработанном перечне показателей.

Литература

1. Илюшко В.М., Митрахович М.М., Самков А.В., Силков В.И., Соловьев О.В., Стрельников В.И. Беспилотные летательные аппараты: Методики приближенных расчетов основных параметров и характеристик. Под общ. ред. В.И. Силкова. – К.: ЦНИИ ВВТ ВС Украины – 2009. – 302 с.
2. Ковтонюк И.Б., Анипко О.Б. Потребное управление при синтезе средств обеспечения устойчивости и управляемости летательного аппарата // Интегровані технології та енергозбереження. Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – 2009. – №2. – с. 153–158.
3. Ганиев Ф.И., Новад А.А., Петренко В.Н., Счисленок А.М., Тарасенков А.М., Трембач В.М. Летно-технические характеристики самолета МиГ-29. Под общ. ред. А.М. Тарасенкова. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского – 1985. – 85 с.

4. Аніпко О.Б., Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники. – Харьков: НТУ «ХПИ» – 2008. – 196 с.

Bibliography (transliterated)

1. Iljushko V.M., Mitrahovich M.M., Samkov A.V., Silkov V.I., Solov'ev O.V., Strel'nikov V.I. Bespilotnye letatel'nye apparaty: Metodiki priblizhennyh raschetov osnovnih parametrov i harakteristik. Pod obshh. red. V.I. Silkova. – K.: CNII VVT VS Ukrainy – 2009. – 302 p.

2. Kovtonjuk I.B., Anipko O.B. Potrebnoe upravlenie pri sinteze sredstv obespechenija ustojchivosti i upravljaemosti letatel'nogo apparata Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. Shhokvar-tal'nij naukovopraktichnij zhurnal. – Harkiv: Nacional'nij tehnicnij universitet «Harkivs'kij politehnicnij institut». – 2009. – #2. – p. 153–158.

3. Ganiev F.I., Novad A.A., Petrenko V.N., Schislenok A.M., Tarasenkova A.M., Trembach V.M. Letnotehnicneskie harakteristiki samoleta MiG-29. Pod obshh. red. A.M. Tarasenkova. – M.: VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo – 1985. – 85 p.

4. Anipko O.B., Borisjuk M.D., Busjak Ju.M. Konceptual'noe proektirovanie ob"ektov brone-tankovoj tehniki. – Har'kov: NTU «HPI» – 2008. – 196 p.

УДК 629.7.001

Ковтонюк І.Б., Аніпко О.Б.

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ХАРАКТЕРИСТИК МАНЕВРЕНОСТІ, СТІЙКОСТІ ТА КЕРОВАНОСТІ ВИНИЩУВАЧІВ ПРИ ПЕРЕХОПЛЕННІ МАЛОШВИДКІСНИХ ЦІЛЕЙ

Пропонується підхід до обґрунтування вимог до характеристик маневреності, стійкості та керованості винищувачів при перехопленні малошвидкісних цілей. Підхід включає в себе етапи аналізу винищувача як складної технічної системи, формування раціональних параметрів і характеристик маневреності, стійкості та керованості, та заключний етап формування власне вимог до характеристик маневреності, стійкості та керованості винищувача.

Kovtonyuk I.B., Anipko O.B.

GROUND OF REQUIREMENTS TO CHARACTERISTICS OF MANEUVERABILITY, STABILITY AND CONTROLLABILITY OF INTERCEPTORS, AT INTERCEPT OF LITTLESPEED AIMS

Offered approach to the ground requirements to characteristics of maneuverability, stability and controllability of interceptors, at the intercept of littlespeed aims. Approach includes for itself the stages of analysis of interceptor as a difficult technical system, forming of rational parameters and characteristics of maneuverability, stability and controllability, and final stage of forming actually of requirements to characteristics of maneuverability, stability and controllability of interceptor.

Возгрин Ю.В., Иванов Ю.П., Климов В.Ф., Лазурко А.В., Михайлов В.В.

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ
АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ВОЗДУХООЧИСТКИ**

Постановка задачи

При проектировании силовых установок машин специального назначения актуальным вопросом является создание эффективной системы воздухоочистки.

При ограниченных объемах моторно-трансмиссионного отделения создание воздухоочистителей с новыми характеристиками по аэродинамическому сопротивлению и пропуску пыли является технически сложной задачей.

Расчет отдельных элементов системы очистки воздуха из-за множеств неопределенностей не всегда соответствует реальным характеристикам. Исходя из этого, важным элементом в создании системы очистки воздуха являются экспериментальные исследования.

Учитывая некоторые сложности изготовления натуральных образцов, зачастую предпочтение отдается моделям, выполненным с соблюдением критериев геометрического подобия.

Условием гидродинамического моделирования является подобие геометрическое: как границы потоков, так и обтекаемые ими элементы в натуре и в модели должны быть геометрически подобны, равенство соотношений скоростей в соответствующих точках натурального и модельного потоков и одинаковую относительную направленность скоростей в этих точках и т.д. Соотношение различных сил устанавливаются числами (критериями) гидродинамического подобия: критерий Рейнольдса, критерий Эйлера, критерий Маха, критерий Фруда и обуславливается равенством этих критериев для модельного и натурального потоков [1].

Актуальность темы

В настоящей работе рассмотрены методы оценки конструктивных составляющих элементов модельных и натуральных воздухоочистителей.

В работе описаны эффекты изменения аэродинамических характеристик воздухоочистителя в зависимости от изменения мощности двигателя силовой установки. Использование метода гидродинамического подобия при проектировании системы очистки воздуха позволяет сократить трудоемкость изготовления и уменьшает энергозатраты при испытаниях.

Для полной уверенности в справедливости результатов выполненного анализа необходимо проведение дополнительной проверки полученных результатов, а также введение коэффициентов перехода от модели к натурному образцу при определении основных характеристик системы очистки воздуха.

Изложение основного материала

Как правило, разработка современной системы очистки воздуха представляет собой технически сложную инженерную задачу, решение которой основывается на высоких требованиях, предъявляемых к силовым установкам. В первую очередь необходимо обеспечить высокую степень очистки воздуха при минимальном аэродинамическом сопротивлении. Эти параметры всегда находятся в противоречии, т.к. высокая степень очистки воздуха связана с высоким аэродинамическим сопротивлением, что может привести к дополнительным потерям объектовой мощности двигателя и даже к помпажным явлениям компрессора наддувочного воздуха. Помпажные явления характеризуются резкими знакопеременными изменениями давления и расхода воздуха при постоянной частоте двигателя, что может привести к механическим разрушениям элементов газоздушного тракта двигателя. Поэтому удовлетворение требований по аэродинамическому сопротивлению и степени очистки воздуха необходимо выполнять только по результатам глубоких исследований как стендовых, так и натуральных. Исходя из этого, система очистки воздуха представляет собой многоступенчатый комплекс, предусматривающий различные условия эксплуатации, в т.ч. экстремальные, например движение в пустыне при высокой запыленности воздуха. Основным элементом, в котором происходит очистка воздуха, является циклонный аппарат.

Циклон представляет собой коническую или цилиндрическую трубку, у одного торца которой имеется входное устройство для закрутки потока воздуха при осевом направлении потока или патрубков на стенке корпуса при тангенциальном направлении потока. С другого торца корпуса циклона установлена центральная трубка, куда попадает очищенный воздух. Несмотря на конструктивную простоту циклонов, процесс пылеотделения в них сложен и до настоящего времени достаточно не изучен.

Исследования процессов перемещения турбулентной струи в циклоне опирается на эмпирическую теорию, которая требует задания определенных констант, что конечно, не проникает глубоко в сущность явления. В связи с этим, необходимо при проведении эксперимента измерять величины, входящие в состав критериев гидродинамического подобия, моделируя перемещения воздуха и твердых частиц. Поток воздуха в циклоне пространственный, вихревой и в значительной степени турбулентный.

При проведении эксперимента учитываются начальные условия истечения, которые существенно влияют на аэродинамические характеристики турбулентной струи в циклоне. Параметры течения определяются в выходном сечении циклона (профили скорости и скорости закрутки, температуры и концентрации примеси, энергии и масштаба турбулентности). Изменение происходит при течении в начальном и основном участках циклона турбулентных струй.

Характер потока воздуха определяется конструкцией циклона и зависит от соотношения его геометрических размеров. Скорости движения потока воздуха, формы частиц пыли, а также силы, действующей на частицы пыли, затрудняют разработку методов расчета циклонов с точностью, достаточной для практического применения при проектировании систем воздухоочистки. В практике расчета систем воздухоочистки обычно используют характеристики циклонов, полученные экспериментально. Большой объем экспериментальных данных по циклонам позволяет применять метод расчета эффективности циклонов, основанный на теории подобия, и производить расчет характеристик геометрически подобных циклонов в их рабочем диапазоне, как на определенном дисперсном составе пыли, так и на различных видах пыли при изменении условий работы циклонов в широком диапазоне [5].

При повышении мощности двигателя увеличивается расход воздуха и для сохранения удельного расхода воздуха через один циклон необходимо увеличить количество циклонов, что приводит к увеличению габаритов воздухоочистителя. Для уменьшения объема воздухоочистителя при сохранении качественных характеристик очистки воздуха, необходимо уменьшение габаритов самих циклонов. Уменьшение габаритов циклона проводится по методике моделирования с выбранным коэффициентом по всем геометрическим размерам, определяющим характеристику циклона.

Созданная модель даст возможность экспериментально получить сравнительные характеристики циклона при варьировании размерами корпуса циклона и центральной трубки циклона.

Важной ступенью очистки воздуха являются кассеты многоразового применения, представляющие собой кожух с набивкой из гофрированной проволоки, пропитанной дизельным топливом и моторным маслом.

Созданная модель воздухоочистителя позволит получить характеристики очистки воздуха при изменении параметров кассеты, а также оценить влияние этих параметров на работу воздухоочистителя. Основными параметрами кассеты являются величины удельной плотности и удельной скорости воздушного потока. При минимальных затратах на изготовление появится возможность варьировать различной плотностью набивки кассеты, диаметром проволоки, высотой фильтрующего слоя кассеты, площадью фронтальной поверхности кассеты. Появится возможность применения различных материалов для наполнителя кассеты.

Для определения аэродинамических и пылевых параметров модельных и натуральных воздухоочистителей, с последующей их сравнительной оценкой, проводятся испытания модели воздухоочистителя на стенде, схема которого приведена на рисунке 1. Испытания проводятся по разработанной программе [4].

Испытания одноступенчатых воздухоочистителей (типа циклонного аппарата) проводят сериями опытов продолжительностью от 30 до 60 мин (при частичном отборе) и не менее 1 ч (при фильтрации потока). Количество серий должно быть не менее двух. Количество опытов в серии – четыре. В результате проведения данных испытаний определяются значения аэродинамического сопротивления циклонного аппарата модели воздухоочистителя ($H_{в/о}$), коэффициент отсоса эжектора удаления пыли из пылесборника (q) и коэффициент пропуска пыли воздухоочистителя (ξ_1).

При определении коэффициента пропуска пыли воздухоочистителя (ξ_1) методом полной фильтрации потока воздуха в мерном участке трубопроводов за испытываемым воздухоочистителем устанавливается фильтр, в котором в качестве фильтрующих элементов могут использоваться различные ткани (например, ткань Петрянова), которые перед установкой в фильтр предварительно взвешиваются. Задержанная фильтром пыль определяется по разности конечного и исходного весов, и является полным количеством пыли, не очищенной испытываемым воздухоочистителем. Однако применение этого метода в условиях больших расходов воздуха через фильтр требует использования мощного источника разрежения для преодоления сопротивления всего мерного участка и создания необходимой скорости потока воздуха, большой протяженности трубопроводов, необходимых для соблюдения норм длины мерного участка, а также ресивер (успокоитель) для выравнивания скоростей потоков воздуха в определенных участках. Вследствие этого использование метода полной фильтрации представляется более эффектив-

ним в условиях малых расходов воздуха и небольшого количества пыли, улавливаемой фильтроэлементом.

Отличие метода частичного отбора основано на отборе части воздушного потока воздуха отборной трубкой, установленной в мерном сечении трубопроводов на расчетной высоте, что позволяет впоследствии по формулам приведения пересчитать количество пыли, не очищенное воздухоочистителем и в значительной степени снижает габаритные размеры стенда, а также требования к мощности используемого оборудования (турбокомпрессора) для преодоления сопротивления всей трассы и создания необходимой скорости потока воздуха, поэтому чаще применяется метод частичного отбора.

В результате проведения испытаний определяются значения аэродинамического сопротивления циклонного аппарата модели воздухоочистителя ($H_{в/о}$), коэффициент отсоса эжектора удаления пыли из пылесборника и коэффициент пропуска пыли (ξ_1).

Аэродинамическое сопротивление определяется по разности полного давления H_p в мерном сечении моторной трассы (рисунок 1) при испытании с циклонным аппаратом и со свободным входом, т.е. $H_{в/о} = H_{пу} - H_{пс}$ (Па). Приведенная к нормальным условиям величина $H_{пс}$ постоянна для стенда и определяется заранее.

Коэффициент пропуска (ξ_1) представляет собой отношение запыленности воздуха за циклонным аппаратом Ψ_2 к запыленности воздуха на входе в воздухозаборное устройство Ψ_1 , выраженное в процентах:

$$\xi_1 = \frac{\Psi_2}{\Psi_1} \cdot 100 \% \quad (1)$$

После установки модели воздухоочистителя на стенд без воздухозаборного устройства определяется величина расхода моторного воздуха, которая выбирается из расчета воздушной нагрузки на один циклон соответствующего воздухоочистителя, а коэффициент отсоса устанавливается в соответствии с техническими условиями (ТУ) на данный воздухоочиститель [6].

Коэффициент отсоса (q) представляет собой процентное отношение расхода воздуха, идущего на удаление пыли из пылесборника ($G_{отс}$) к расходу моторного воздуха (G_m):

$$q = G_{отс} / G_m \cdot 100 \% \quad (2)$$

Расходы моторного и отсасываемого воздуха устанавливаются методом последовательных приближений.

В процессе проведения аэродинамических испытаний макета воздухоочистителя, определяются следующие параметры:

- атмосферное давление $P_б$, Па;
- температура окружающего воздуха $t_{окр.}$, °C;
- температура моторного воздуха t_m , °C;
- температура сжатого воздуха t_c , °C;
- перепад давлений по мерной диафрагме моторного воздуха ΔH_m , Па;
- разрежение перед диафрагмой моторного воздуха ΔH_d , Па;
- перепад давлений по мерному коллектору трассы отсоса ΔH_k , Па;
- перепад давлений по мерной диафрагме трассы сжатого воздуха ΔH_c , Па;
- давление перед мерной диафрагмой трассы сжатого воздуха H_c , Па;
- разрежение перед коллектором трассы отсоса H_k , Па;
- расход моторного воздуха G_m , кг/с;
- полное давление в мерном участке моторной трассы H_p , Па;
- статическое давление в мерном участке моторной трассы $H_{ст}$, Па.

После проведения испытаний проводится обработка полученных результатов. Измеренные значения полного $H_p^{изм}$ и статического $H_{ст}^{изм}$ давлений в мерном участке приводятся к нормальным условиям по формулам (3) и (4):

$$H_p^{пр} = H_p^{изм} \cdot \frac{P_б}{273 + T} \cdot \frac{293}{760} \quad (3)$$

$$H_{ст}^{пр} = H_{ст}^{изм} \cdot \frac{P_б}{273 + T} \cdot \frac{293}{760} \quad (4)$$

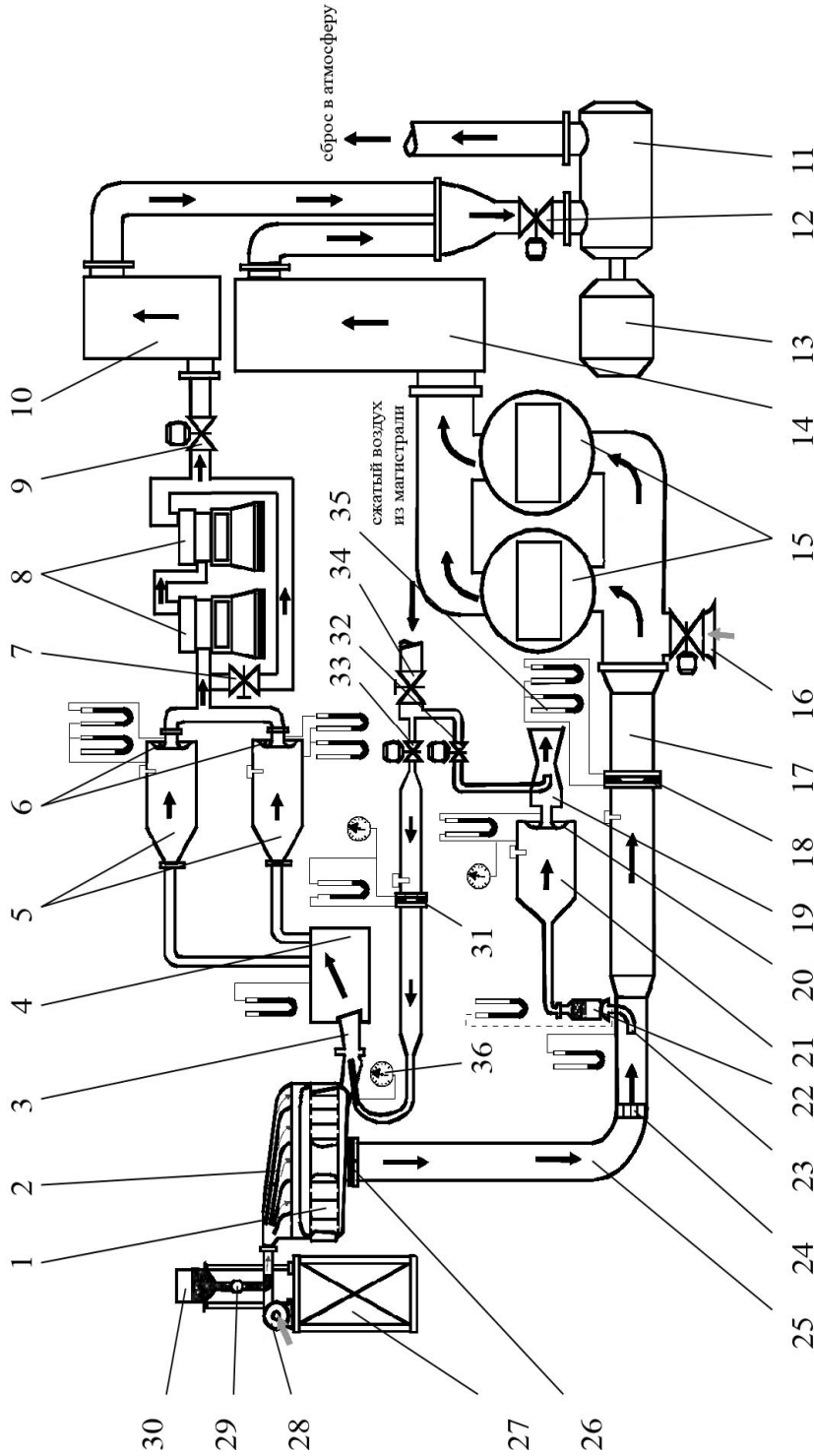


Рисунок 1 – Принципиальная схема стенда испытаний воздухоочистителей

1 – воздухоочиститель, 2 – пылевая камера, 3 – эжектор отсоса пыли, 4 – ресивер уравнивающий, 5 – ресиверы, 6 – мерные коллекторы, 7 – заслонка перепускная, 8 – пылеулавливатели, 9 – регулируемая задвижка №1, 10 – ресивер-успокоитель, 11 – турбокомпрессор, 12 – регулируемая задвижка №2, 13 – электродвигатель турбокомпрессора, 14 – ресивер-успокоитель, 15 – фильтры, 16 – регулируемая задвижка №3, 17 – труба Ø400 мм, 18 – измерительная диафрагма, 19 – эжектор частичного отбора воздуха, 20 – мерный коллектор, 21 – ресивер, 22 – аллонж, 23 – трубка частичного отбора воздуха, 24 – соединительная труба, 25 – измерительная диафрагма, 26 – переходной патрубков, 27 – пыледозатор, 28 – вентилятор пыледозатора, 29 – шнек пыледозатора, 30 – бункер пыли, 31 – измерительная диафрагма, 32 – регулируемая задвижка №4, 33 – регулируемая задвижка №5, 34 – вентиль,

Известное значение полного давления в мерном участке со свободным входом $H_{\text{пс}}$ приводится к условиям в мерном сечении с установленной данной моделью воздухоочистителя:

$$H_{\text{пс}}^{\text{нр}} = H_{\text{пс}} \cdot \frac{P_{\text{б}}}{P_{\text{б}} - H_{\text{ст}}^{\text{нр}} / 13,6} \cdot \frac{760}{293}. \quad (5)$$

Определяется аэродинамическое сопротивление циклонного аппарата:

$$H_{\text{в/о}} = H_{\text{п}}^{\text{нр}} - H_{\text{пс}}^{\text{нр}}. \quad (6)$$

При проведении пылевых испытаний за счет специального устройства обеспечивается равномерная подача пыли дозирующим устройством.

Расчет коэффициента пропуска пыли ведется на основании следующих данных:

- количество пыли, засыпанной в дозатор, $G_{\text{п}}$, г;
- продолжительность пыления, τ , мин;
- привес фильтра, $g_{\text{ф}}$, мг.

Фактическая запыленность воздуха на входе в циклонный аппарат определяется по формуле:

$$\Psi_1 = \frac{G_{\text{п}}}{(G_{\text{мот}} + G_{\text{отс}}) \cdot \tau}. \quad (7)$$

Запыленность на выходе из циклонного аппарата (очищенный воздух) определяется по формуле:

$$\Psi_2 = \frac{g_{\text{ф}}}{G_{\text{м}} \cdot \tau \cdot 10^3}. \quad (8)$$

Определяется коэффициент пропуска циклонного аппарата за один опыт:

$$\xi = \Psi_2 / \Psi_1 \cdot 100 \quad (9)$$

и усредненный коэффициент пропуска:

$$\xi_{\text{ср}} = \frac{\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n}{n}, \quad (10)$$

где n – количество опытов.

Полученные результаты экспериментов позволяют с достаточной степенью точности оценить любой вариант модели, выбранный для машины специального назначения с силовой установкой любой мощности. По такой же методике оценивается и полноразмерный вариант схемы очистки воздуха.

Выводы

1. Сравнительный анализ результатов испытаний натурального и модельного циклонов в модели воздухоочистителя позволяет выбрать наиболее рациональный вариант системы очистки воздуха для проектируемого машины специального назначения с минимальными затратами.

2. После испытания модели воздухоочистителя и получения результатов, удовлетворяющих предъявляемым требованиям к очистке воздуха, появляется возможность создания натурального воздухоочистителя в заданных объемах. Использование модели воздухоочистителя позволяет сократить расходы по материалам при изготовлении опытных воздухоочистителей, трудоёмкость на изготовление партии циклонов, расход пыли при испытании воздухоочистителя, время, затраченное на проведение испытаний воздухоочистителя.

3. При дальнейшем повышении мощности двигателей отечественных машин специального назначения применение моделирования позволит оптимизировать геометрию элементов конструкций воздухоочистителя и дает возможность сохранить его прежний объем, несмотря на неизбежное увеличение расхода моторного воздуха.

Литература

1. Большаков В.А., Попов В.Н. Гидравлика. Общий курс; Учеб. для вузов – Киев: Высшая шк., 1989.
2. Дербунович Г.И., Земская А.С., Репик Е.У. Использование сеток для управления структурой турбулентного потока в аэродинамических трубах. Учен. зап. ЦАГИ. 1982.
3. Дербунович Г.И., Земская А.С., Репик Е.У. К вопросу о гидравлическом сопротивлении сеток. Учен. зап. ЦАГИ. 1982.
4. ГОСТ В 17407-72. «Воздухоочистители дизельных силовых установок ВГМ. Методы стендовых безмоторных испытаний». Введ. 01.01.73.
5. Никитин В.Т., Таушканов Г.П. «Теоретические основы аэродинамики и пылеотделения циклонов» М.:ЦНИИинформации.– 364 с.
6. Методика расчета основных параметров системы воздухоочистки: Отчет о НИР /промежут./ /Предприятие п.я. А-7701; №883012; – Л. – 1987.

Bibliography (transliterated)

1. Bol'shakov V.A., Popov V.N. Gidravlika. Obshhij kurs; Ucheb. dlja vuzov – Kiev: Vysshaja shk., 1989.
2. Derbunovich G.I., Zemskaja A.S., Repik E.U. Ispol'zovanie setok dlja upravlenija strukturoj turbulentnogo potoka v ajerodinamicheskix trubah. Uchen. zap. CAGI. 1982.
3. Derbunovich G.I., Zemskaja A.S., Repik E.U. K voprosu o gidravlicheskom soprotivlenii setok. Uchen. zap. CAGI. 1982.
4. GOST V 17407-72. «Vozduhoochistiteli dizel'nyh silovyh ustanovok VGM. Metody stendovyh bezmotornyh ispytaniy». Vved. 01.01.73.
5. Nikitin V.T., Taushkanov G.P. «Teoreticheskie osnovy ajerodinamiki i pyleotdelenija ciklonov» M.:CNIinformacii.– 364 p.
6. Metodika rascheta osnovnyh parametrov sistemy vozduhoochistki: Otchet o NIR promezhut. Predprijatje p.ja. A-7701; #883012; – L. – 1987.

УДК 623.438. 14

Возгрін Ю.В., Іванов Ю.П., Клімов В.Ф., Лазурко О.В., Михайлов В.В.

ГІДРОДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ПОВІТРООЧИЩЕННЯ

В статті проводиться дослідження щодо створення ефективної системи повітроочищення при проектуванні силових установок важких гусеничних машин.

Vozgrin Yu.V., Ivanov Yu.P., Klimov V.F., Lazurko O.V., Mikhailov V.V.

FLUID-FLOW SIMULATION AS A RESEARCH METHOD OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF COMPONENTS IN AIR CLEANING SYSTEM

The article represents the study hen creating the effective system of air cleaning while designing the power plants of heavy tracked vehicles.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГИДРОТРАНСФОРМАТОРА

1. Введение

Максимальное увеличение параметров подвижности является одной из первоочередных задач в разработке и проектировании военных машин. Необходимость ведения боевых действий на открытых пространствах с различными дорожными условиями, обеспечение маневрирования и доставки экипажа с использованием, как дорог общего назначения, так и при их отсутствии, осуществление атаки в условиях сильных разрушений, затоплений и применении противником искусственных препятствий и заграждений, предъявляет ряд специфических требований к трансмиссиям легкобронированной колесной техники. Трансмиссия должна иметь широкий силовой диапазон [1] в сочетании с высоким КПД, достаточную надежность при максимально уменьшенных массогабаритных показателях, быть ремонтпригодной. Применение автоматического управления переключением передач [2] значительно упрощает управление машиной в сложной обстановке общевойскового боя и, одновременно, уменьшает время, необходимое для обучения экипажа. Наиболее полно указанным требованиям отвечает трансмиссия с гидромеханической коробкой передач и автоматическим электронным управлением.

Одним из наиболее сложных компонентов гидромеханической коробки передач является гидродинамический трансформатор крутящего момента.

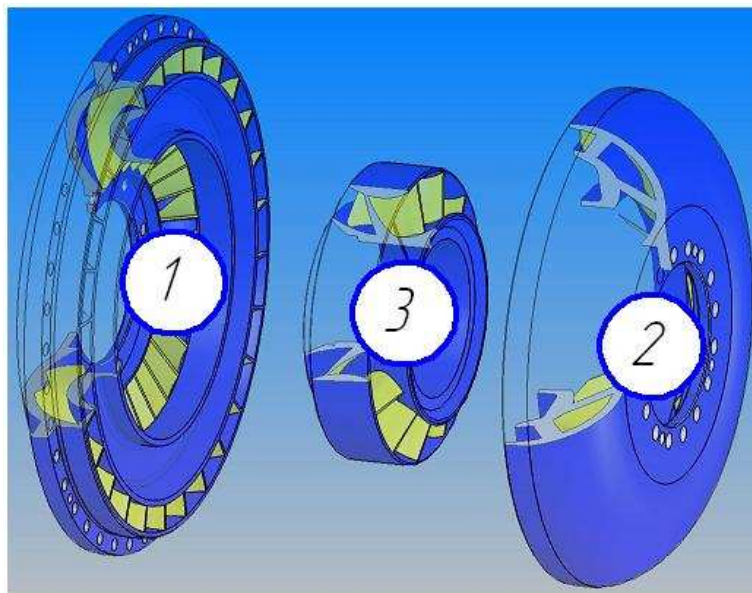


Рисунок 1 – Компьютерные модели разнесенных рабочих колес ГТК-XV (Da = 380 мм) в разрезе:
1 – насосное колесо; 2 – турбинное колесо; 3 – колесо реактора

Гидротрансформаторы представляют собой гидродинамические машины, способные автоматически преобразовывать крутящий момент двигателя в зависимости от нагрузки на выходном валу.

В настоящее время в гидромеханических трансмиссиях транспортных средств весом до 25 тонн и мощностью двигателя до 500 л.с. наибольшее распространение получили одноступенчатые трехколесные комплексные гидротрансформаторы с активным диаметром порядка 300...400 мм, центробежным насосным колесом, центростремительным турбинным и колесом реактора осевого типа (рис. 1).

2. Математическая модель рабочего процесса гидротрансформатора, основанная на уравнении баланса гидравлической энергии

Наиболее значительный вклад в изучение особенностей динамики потока рабочей жидкости в гидротрансформаторе и развитие теории расчета его внешних и внутренних параметров на основе использования уравнения баланса гидравлической энергии внесли целый ряд авторов в работах [3–13] и др.

В общем случае уравнение баланса гидравлической энергии [3] представляется как разность напоров насосного и турбинного колес, которая равна сумме гидравлических потерь:

$$H_1 - H_2 = \sum h_{ном} . \quad (1)$$

В результате анализа существующих уравнений баланса, изложенных в работах [3–13], было выведено модифицированное уравнение баланса гидравлической энергии [14], в котором был проведен учет влияния особенностей характера и структуры потока. В частности, разработанное уравнение баланса содержит учет конечного числа лопаток для всех рабочих колес, выполнен учет влияния площади потока на меридиональную скорость C_m , введен учет стеснения потока лопатками. В уравнение баланса включена возможность учета прозрачности решеток гидротрансформатора β_{mn} потока = $f(i)$.

В дальнейшем упомянутое уравнение баланса также было дополнено возможностью дифференцированного задания коэффициентов ударных потерь ψ_m для каждого из рабочих колес при наличии соответствующих экспериментальных кривых $\psi_m = f(i)$. Уравнение баланса в окончательном виде:

$$A \cdot \varphi^2 + B \cdot \varphi + C = 0 ; \quad (2)$$

$$A = \frac{-(1-\eta_z^*)}{(\varphi^*)^2} \cdot \left(Kz_n - \varphi^* \cdot \left(\text{ctg} \beta_{21} + \frac{\text{ctg} \beta_{23} \cdot \sigma_{zP} \cdot \tau_{23}}{B_{23}} \right) \right) - \frac{\psi_1}{2} \cdot \left[\frac{\text{ctg} \beta_{11} \cdot \tau_{11}}{\rho_{11} \cdot B_{11}} + \frac{\text{ctg} \beta_{23} \cdot \sigma_{zP} \cdot \tau_{23}}{\rho_{11} \cdot B_{23}} \right]^2 - \frac{\psi_2}{2} \cdot \left[\frac{\text{ctg} \beta_{12} \cdot \tau_{12}}{\rho_{12} \cdot B_{12}} - \frac{\text{ctg} \beta_{21}}{\rho_{12}} \right]^2 - \frac{\psi_3}{2} \cdot \left[\frac{\text{ctg} \beta_{13} \cdot \tau_{13}}{\rho_{13} \cdot B_{13}} + \frac{\text{ctg} \beta_{22} \cdot \tau_{22}}{\rho_{13} \cdot B_{22}} \right]^2 ; \quad (3)$$

$$B = -\text{ctg} \beta_{21} - \frac{\text{ctg} \beta_{23} \cdot \sigma_{zP} \cdot \tau_{23}}{B_{23}} + i \cdot \left(\text{ctg} \beta_{21} - \frac{\text{ctg} \beta_{22} \cdot \tau_{22}}{B_{22}} \right) + \psi_1 \cdot \left(\frac{\text{ctg} \beta_{11} \cdot \tau_{11}}{B_{11}} + \frac{\text{ctg} \beta_{23} \cdot \sigma_{zP} \cdot \tau_{23}}{B_{23}} \right) - \psi_2 \cdot (Kz_n - i) \cdot \left(\frac{\text{ctg} \beta_{12} \cdot \tau_{12}}{\rho_{12} \cdot B_{12}} - \frac{\text{ctg} \beta_{21}}{\rho_{12}} \right) + \psi_3 \cdot \frac{\rho_{22}^2}{\rho_{13}} \cdot i \cdot Kz_m \cdot \left(\frac{\text{ctg} \beta_{13} \cdot \tau_{13}}{\rho_{13} \cdot B_{13}} + \frac{\text{ctg} \beta_{22} \cdot \tau_{22}}{\rho_{13} \cdot B_{22}} \right) ; \quad (4)$$

$$C = Kz_n \cdot (1-i) + \rho_{22}^2 \cdot i^2 \cdot Kz_m - \frac{\psi_1}{2} \cdot \rho_{11}^2 - \frac{\psi_2}{2} \cdot [Kz_n - i]^2 - \frac{\psi_3}{2} \cdot \frac{\rho_{22}^4}{\rho_{13}^2} \cdot i^2 \cdot Kz_m^2 . \quad (5)$$

Здесь $B_{mn} = b_{mn}/b_{21}$ – относительная ширина проточной части гидротрансформатора в меридиональном сечении, (см. рис. 3); $\tau_{mn} = \chi_{mn}/\chi_{21}$ – относительная величина стеснения потока лопатками, β_{mn} – угол лопаточной системы гидротрансформатора, ° (см. рис. 2); $\rho_{mn} = r_{mn}/r_{21}$ – относительный радиус положения кромки лопаточной системы гидротрансформатора на средней линии тока, (см. рис. 2); Kz_n, Kz_t, σ_{zP} – коэффициенты учета конечного числа лопаток насосного, турбинного и реакторного колес соответственно; m – обозначение входа или выхода из лопаточной системы гидротрансформатора: 1 – вход, 2 – выход; n – обозначение лопаточной системы: 1 – насосное колесо, 2 – турбинное колесо, 3 – колесо реактора.

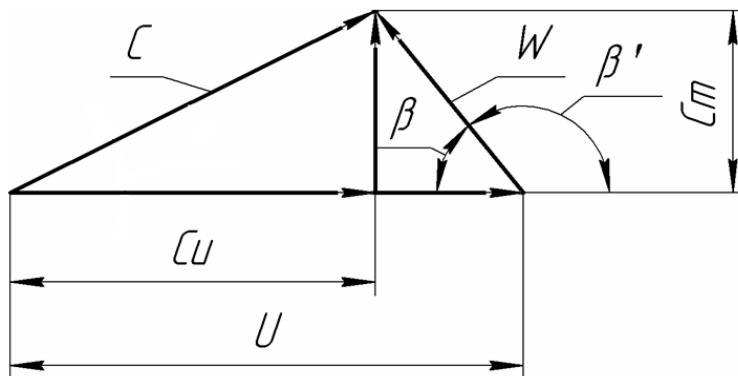


Рисунок 2 – Треугольник скорости

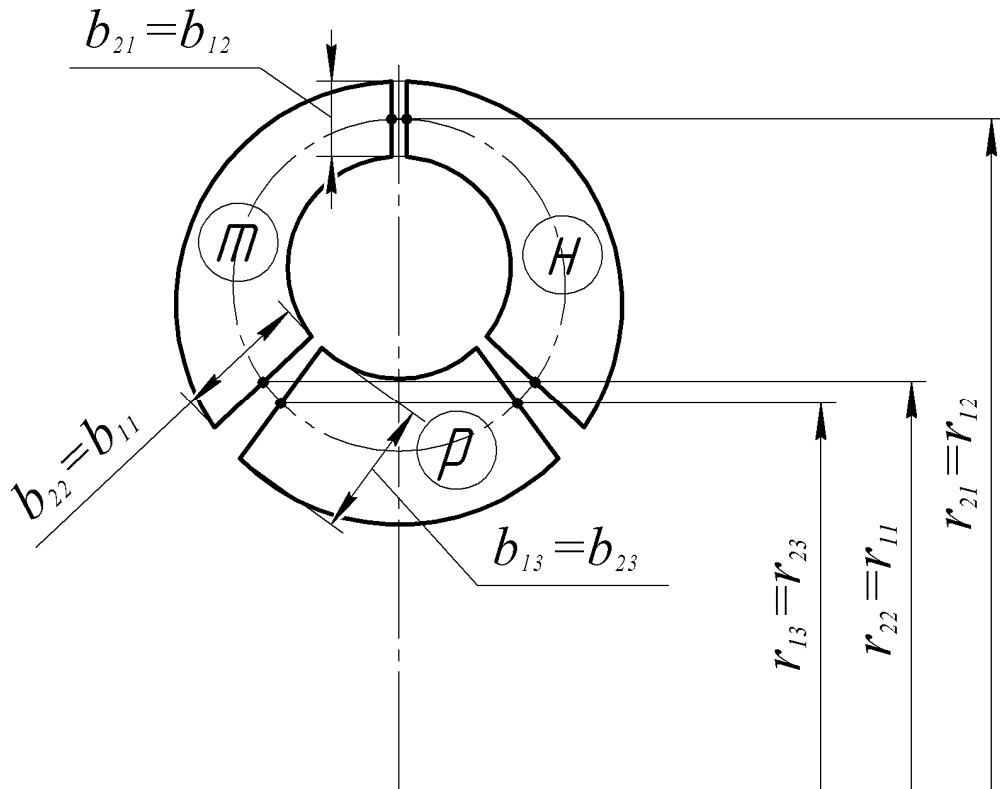


Рисунок 3 – Расположение радиусов и ширины канала вдоль средней линии тока в проточной части ГТР

Коэффициент скорости равен:

$$\varphi = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A} \quad (6)$$

Определение меридиональной скорости проводится по уравнению:

$$Cm_{mn} = \varphi \cdot U_{mn}, \quad (7)$$

где $Cm_{mn} = \varphi \cdot U_{mn}$

Значение расхода:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot r_{21} \cdot b_{21} \cdot Cm_{21}. \quad (8)$$

К основным параметрам внешней характеристики гидротрансформатора, которые определяют его совместную работу с двигателем и трансмиссией транспортного средства, относят:

– значения моментов на насосном M_1 , турбинном M_2 и реакторном M_3 колесах:

$$M_1 = -\frac{\gamma \cdot Q}{g} \cdot r_{21}^2 \omega_1 \cdot \left[Kz_n - \varphi_{21} (\rho_{21} \operatorname{ctg} \beta_{21} + \frac{\operatorname{ctg} \beta_{23} \cdot \sigma_{zP} \cdot \tau_{23}}{B_{23}}) \right]; \quad (9)$$

$$M_2 = -\frac{\gamma \cdot Q}{g} \cdot r_{21}^2 \omega_1 \cdot \left[-Kz_n + \rho_{22}^2 i Kz_m + \varphi_{21} \cdot \left(\operatorname{ctg} \beta_{21} - \frac{\operatorname{ctg} \beta_{22} \cdot \tau_{22}}{B_{22}} \right) \right]; \quad (10)$$

$$M_3 = -\frac{\gamma \cdot Q}{g} \cdot r_{21}^2 \omega_1 \cdot \left[-\rho_{22}^2 i K z_m + \varphi_{21} \left(\frac{\text{ctg } \beta_{23} \sigma_{zP} \tau_{23}}{B_{23}} + \frac{\text{ctg } \beta_{22} \tau_{22}}{B_{22}} \right) \right]; \quad (11)$$

– коэффициент трансформации:

$$K = -\frac{\overline{\Delta \Gamma_2}}{\overline{\Delta \Gamma_1}}, \quad (12)$$

где безразмерные разности циркуляций насосного $\overline{\Delta \Gamma_1}$ и турбинного колес $\overline{\Delta \Gamma_2}$ соответственно равны:

$$\overline{\Delta \Gamma_1} = K z_n - \varphi_{21} \cdot \left(\rho_{21} \text{ctg } \beta_{21} + \frac{\text{ctg } \beta_{23} \cdot \sigma_{zP} \cdot \tau_{23}}{B_{23}} \right); \quad (13)$$

$$\overline{\Delta \Gamma_2} = -K z_n + \rho_{22}^2 i K z_m + \varphi_{21} \cdot \left(\text{ctg } \beta_{21} - \frac{\text{ctg } \beta_{22} \cdot \tau_{22}}{B_{22}} \right); \quad (14)$$

– коэффициент полезного действия гидротрансформатора:

$$\eta = K \cdot i, \quad (15)$$

где i – передаточное отношение гидротрансформатора:

$$i = \frac{n_2}{n_1}, \quad (16)$$

где n_1 – частота вращения насосного колеса, мин⁻¹; n_2 – частота вращения турбинного колеса, мин⁻¹;

– коэффициент прозрачности Π :

$$\Pi = \frac{M_{10}}{M_{1.m}}, \quad (17)$$

где M_{10} – момент насосного колеса на пусковом режиме, Нм; $M_{1.m}$ – момент насосного колеса на муфтовом режиме, Нм.

Уравнение баланса и уравнения для расчета основных параметров внешней характеристики (9–17) представляют собой математическую модель рабочего процесса гидротрансформатора.

Адекватность расчета предложенной математической модели была верифицирована путем сравнения полученных теоретических внешних характеристик с экспериментальными данными, полученными для гидротрансформатора с активным диаметром $Da = 380$ мм.

Поскольку полученные экспериментальные внешние характеристики определены для механических значений моментов M_1 и M_2 (т.е. с учетом механических и объемных потерь), для их сравнения с гидравлическими моментами математической модели они были соответствующим образом пересчитаны по зависимостям, приведенным в [8].

Экспериментальная внешняя характеристика была определена в диапазоне передаточного отношения $i = 0,45–0,9$ при оборотах насосного колеса $n_1 = 1700$ об/мин.

В результате сравнения теоретических и экспериментальных данных получено средние расхождения: для $M_1 = -0,52$ % и $M_2 = -3,31$ %, для значений гидравлического КПД η_T и коэффициента трансформации K – 2,7 % (рис. 4).

Експериментальні дослідження гідротрансформатора проведені на стендовому обладнанні опытно-производственной бази КП ХКБМ ім. А.А. Морозова.

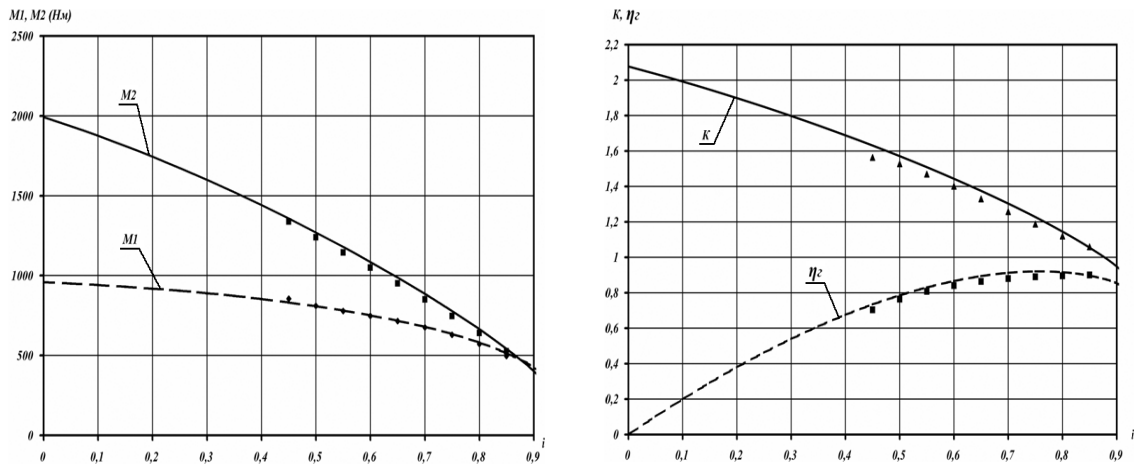


Рисунок 4 – Сравнение теоретических внешних характеристик гидротранс-форматора, полученных по математической модели (сплошные линии), с экспериментальными данными (нанесены в виде точек)

3. Изучение влияния температуры рабочей жидкости на полный КПД гидротрансформатора

В гидротрансформаторах транспортных машин средняя температура рабочей жидкости изменяется в достаточно широких пределах, а также в связи с недостаточной освещенностью данного вопроса в технической литературе, определенный практический интерес представляет изучение (в т.ч. экспериментальное) влияния температуры рабочей жидкости на полный КПД гидротрансформатора $\eta_{гтр}$.

На переходных режимах работы гидротрансформатора, имеющих место при эксплуатации транспортного средства, температура рабочей жидкости изменяется в пределах $t_{вых} = +20 \dots +120$ °С. Поэтому, для определения влияния температуры рабочей жидкости на параметры внешней характеристики гидротрансформатора, в частности на величину КПД, целесообразно использовать программы вычислительной гидродинамики (CFD), основанные на решении осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, либо проводить экспериментальное моделирование, что представляется более приемлемым.

Известно, что с увеличением температуры рабочей жидкости уменьшается ее вязкость, и как следствие происходит уменьшение величины гидравлических потерь пропорциональных квадрату скорости, что в свою очередь приводит к увеличению полного КПД гидротрансформатора.

Было проведено экспериментальное исследование внешней характеристики гидротрансформатора для двух фиксированных значений передаточного отношения $i = 0,33$ и $i = 0,49$.

Масляные каналы гидротрансформатора, предназначенные для подвода охлажденной рабочей жидкости и ее отвода на охлаждение были подключены к маслосистеме стенда. Шестеренный насос стендового комплекса обеспечивал расход охлаждающей рабочей жидкости через гидротрансформатор $Q = 68$ л/мин. Частота вращения насосного колеса составляла 1400 мин^{-1} . В качестве рабочей жидкости использовалось масло марки МТ-8п, полный объем рабочей жидкости в гидросистеме стенда составлял 300 л.

Первоначально, при передаточном отношении $i = 0,49$ проводился нагрев рабочей жидкости в гидротрансформаторе и стендовой гидросистеме с одновременным фиксированием основных параметров внешней характеристики. В дальнейшем, при достижении максимально допустимой для стендового оборудования температуры проводился переход на режим работы гидротрансформатора $i = 0,33$ и осуществлялось принудительное водяное охлаждение основного маслобака стенда с одновременным фиксированием основных параметров.

График нагрева и охлаждения рабочей жидкости для передаточных отношений $i = 0,33$ и $i = 0,49$ представлен на рис. 5.

В результате фиксирования значений полного КПД гидротрансформатора во время нагрева и охлаждения рабочей жидкости, получены данные, представленные на рис. 6.

В случае передаточного отношения $i = 0,49$ прирост температуры составил $\Delta t_{\text{вых}}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответствовало росту полного КПД гидротрансформатора на 4 %.

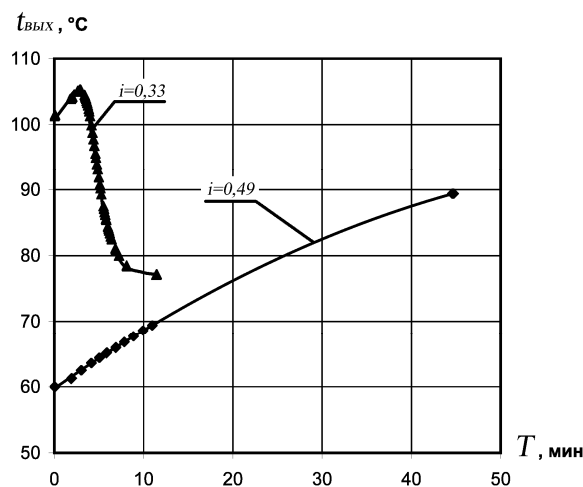


Рисунок 5 – Интенсивность нагрева (при $i = 0,49$) и охлаждения (при $i = 0,33$) рабочей жидкости в гидротрансформаторе

В случае передаточного отношения $i = 0,33$ падение температуры в результате включения принудительного водяного охлаждения маслобака стенда составило $\Delta t_{\text{вых}}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует падению полного КПД гидротрансформатора на 3,4 %.

Таким образом для рассмотренных случаев передаточного отношения i в температурном диапазоне $t_{\text{вых}}=60\text{...}105\text{ }^{\circ}\text{C}$, видно что прирост (падение) температуры на 10 °C приведет соответствующему росту (падению) полного КПД $\eta_{\text{гтр}}$ гидротрансформатора на 1,2...1,3 %, при использовании жидкости наиболее распространенного в отечественной практике трансмиссионного масла марки МТ-8п.

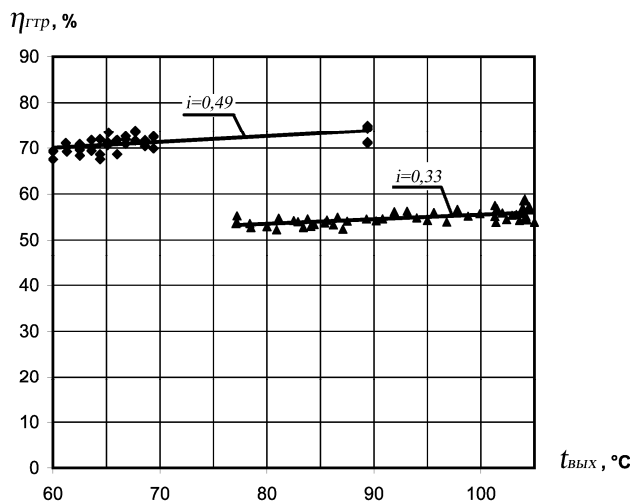


Рисунок 6 – Изменение полного КПД гидротрансформатора на режимах работы $i = 0,33$ и $i = 0,49$ в зависимости от температуры рабочей жидкости

ВЫВОДЫ

1. Разработана усовершенствованная математическая модель рабочего процесса гидротрансформатора, содержащая возможность дополнительного учета особенностей структуры потока в гидротрансформаторе благодаря вводу в расчет дифференцированных коэффициентов ударных потерь ψ_m для каждого из рабочих колес при наличии соответствующих экспериментальных кривых $\psi_m = f(i)$. Математическая модель в качестве исходных данных использует геометрические параметры проточной полости и лопаточных систем гидротрансформатора, и позволяет рассчитывать основные параметры внешней характеристики гидротрансформатора с необходимой точностью;

2. Дана оценка зависимости изменения полного КПД гидротрансформатора от температуры рабочей жидкости – минерального трансмиссионного масла.

Литература

1. Толстолуцкий В.О. Анализ і параметричний синтез механічних трансмісій сучасних швидкохідних гусеничних машин: Дис. канд. техн. наук: 05.22.02. – Харків, 2007. – 134 с.
2. Александров Е.Е., Стримовский С.В. Особенности проектирования электронной аппаратуры управления для транспортных средств // Вісник аграрної науки Причорномор'я. Спеціальний випуск 2(41). – 2007. – С. 107–109.
3. Алексапольский Д.Я. Гидродинамические передачи / Дмитрий Яковлевич Алексапольский. – Л.: МашГиз, 1963. – 272 с.
4. Завьялов П.С. Учет прозрачности гидродинамических решеток при расчете внешних характеристик гидротрансформаторов / Завьялов П.С. // Гидравлические машины: Сб. научн. трудов. – К.: Техніка. – 1967. – №1. – С. 143–150.
5. Карцев Л.В. Гидродинамические передачи. Ч.2: Теория и расчет гидродинамических трансформаторов / Лев Васильевич Карцев. – М.: МГТУ, 2000. – 156 с.
6. Кочкарев А.Я. Гидродинамические передачи / Анатолий Яковлевич Кочкарев. – Л.: Машиностроение, 1971. – 336 с.
7. Стесин С.П. Лопастные машины и гидродинамические передачи / С.П. Стесин, Е.А. Яковенко. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
8. Лаптев Ю.Н. Автотракторные гидротрансформаторы / Юрий Николаевич Лаптев. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
9. Ломакин А.А. Центробежные и пропеллерные насосы / Ломакин А.А. – М.–Л.: Машгиз, 1950. – 320 с.
10. Нарбут А.Н. Гидротрансформаторы / Андрей Николаевич Нарбут. – М.: Машиностроение, 1966. – 215 с.
11. Гавриленко Б.А. Гидродинамические муфты и трансформаторы / Б.А. Гавриленко, И.Ф. Семичастнов. – М.: Машиностроение, 1969. – 392 с.
12. Трусов С.М. Автомобильные гидротрансформаторы / Сергей Михайлович Трусов. – М.: Машиностроение, 1977. – 272 с.
13. Хуршудян Г.М. Гидравлические преобразователи крутящего момента / Генрих Мкртичевич Хуршудян. – Л.: Судпромгиз, 1963. – 267 с.
14. Соловьев В.М., Завьялов П.С., Подвойский Ю.А. «Методика увеличения коэффициента трансформации на пусковом режиме гидротрансформатора», Восточно-европейский журнал передовых технологий, 6/3 (24), 2006 г., с. 62–65.

Bibliography (transliterated)

1. Tolstoluc'kij V.O. Analiz i parametrichnij sintez mehanichnih transmisij suchasnih shvidko-hidnih gusenichnih mashin: Dis. kand. tehn. nauk: 05.22.02. – Harkiv, 2007. – 134 p.
2. Aleksandrov E.E., Strimovskij S.V. Osobennosti proektirovanija jelektronnoj apparatury upravlenija dlja transportnyh sredstv Visnik agrarnoi nauki Prichornomor'ja. Special'nij vipusk 2(41). – 2007. – p. 107–109.
3. Aleksapol'skij D.Ja. Hidrodinamicheskie peredachi Dmitrij Jakovlevich Aleksapol'skij. – L.: Mash-Giz, 1963. – 272 p.
4. Zav'jalov P.S. Uchet prozrachnosti gidrodinamicheskikh reshetok pri raschete vneshnih harakteristik gidrotransformatorov Zav'jalov P.S. Gidravlicheskie mashiny: Sb. nauchn. trudov. – K.: Tehnika. – 1967. – #1. – p. 143–150.
5. Karcev L.V. Hidrodinamicheskie peredachi. Ch.2: Teorija i raschet gidrodinamicheskikh transformatorov Lev Vasil'evich Karcev. – M.: MGTU, 2000. – 156 p.
6. Kochkarev A.Ja. Hidrodinamicheskie peredachi Anatolij Jakovlevich Kochkarev. – L.: Mashinostroenie, 1971. – 336 p.
7. Stesin S.P. Lopastnye mashiny i gidrodinamicheskie peredachi S.P. Stesin, E.A. Jakovenko. – M.: Mashinostroenie, 1990. – 240 p.
8. Laptev Ju.N. Avtotraktornye gidrotransformatory Jurij Nikolaevich Laptev. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 280 p.
9. Lomakin A.A. Centrobezhnye i propellernye nasosy Lomakin A.A. – M.–L.: Mashgiz, 1950. – 320 p.

10. Narbut A.N. Gidrotransformatory Andrej Nikolaevich Narbut. – М.: Mashinostroenie, 1966. –215 р.
11. Gavrilenko B.A. Gidrodinamicheskie mufty i transformatory B.A. Gavrilenko, I.F. Semichastnov. – М.: Mashinostroenie, 1969. – 392 р.
12. Trusov S.M. Avtomobil'nye gidrotransformatory Sergej Mihajlovich Trusov. – М.: Mashinostroenie, 1977. – 272 р.
13. Hurshudjan G.M. Gidravlicheskie preobrazovateli krutjashhego momenta Genrih Mkrtichevich Hurshudjan. – L.: Sudpromgiz, 1963. – 267 р.
14. Solov'ev V.M., Zav'jalov P.S., Podvojskij Ju.A. «Metodika uvelichenija koeficienta transformacii na puskovom rezhime gidrotransformatora», Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij, 6 3 (24), 2006 g., p. 62–65.

УДК 62-585.2

Веретенніков О.І., Соловійов В.М., Стрімівський І.В., Толстолуцький В.О., Кошман В.О., Журавльов С.В.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ГІДРОТРАНСФОРМАТОРА

У статті представлені основні рівняння розробленої математичної моделі гідротрансформатора, призначеної для розрахунку його основних параметрів зовнішньої характеристики на основі використання геометричних даних лопаткових систем. Виконана оцінка точності розрахунку по запропонованій математичній моделі шляхом порівняння теоретичних і експериментальних даних. Експериментально досліджено вплив температури робочої рідини на повний ККД гідротрансформатора.

Veretennicov A.I., Solovyov V.M., Strimovskiy S.V., Tolstolutskiy V.A., Koshman V.A., Guravlev S.V.

MATHEMATICAL MODEL OF TORQUE CONVERTER WORKING PROCESS

Article contain the main equations of the developed torque converter mathematical model, proposed for calculation of its external characteristic basic parameters based on using blades systems geometrical is presented. The estimation of calculation accuracy the presented mathematical model by comparison theoretical and experimental data is executed. Influence of temperature of working liquid on torque converter full efficiency is experimentally investigated.

УДК 621.396:623.438.02

Гордиенко В.И., Хомченко А.Я.

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ПАНОРАМНОГО ПРИЦЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ОГНЕМ ТАНКА

В настоящее время развитие систем управления огнем (СУО) современных украинских танков проходит путем модернизации основного прицела наводчика и прицельно-наблюдательного комплекса командира. На разных этапах модернизации СУО характеристики этих прицелов улучшались, однако повышение эффективности танка сдерживалось из-за ограниченных поисковых возможностей прицельно-наблюдательного комплекса командира. Так, например, для расширения обзора командира по горизонту прицел ТКН-4С (ТКН-5) устанавливается на вращающуюся башенку правого люка танка, что позволяет обеспечить разворот прицела в секторе $\pm 45^\circ$ относительно нулевого положения, а для обеспечения стрельбы по воздушным целям применяется дополнительный зенитный прицел ПЗУ-7.

Другим направлением повышения боевой эффективности СУО танка является оснащение места командира панорамным прицелом. Панорамные прицелы дают дополнительные возможности по повышению эффективности поиска целей и ведения стрельбы танка [1]. В этом случае командир может использовать панорамный прицел независимо от наводчика и осуществлять командирское управление танком в любой ситуации.

Эволюция развития панорамных прицелов прошла путь от простых оптических устройств до многофункциональных круглосуточных прицельных комплексов интегрированных в СУО танка. Однако интегрирование многофункциональных панорамных прицелов в СУО танка требует проведения модернизации существующих СУО.

В данной работе рассмотрены особенности интегрирования панорамного прицельно-наблюдательного комплекса командира ПНК-6 в СУО современного танка.

Комплекс ПНК-6 [2], разработанный на Черкасском НПК «Фотоприбор», обеспечивает круговой поиск, обнаружение и опознавание целей, ведение прицельной стрельбы по наземным и низколетящим целям из зенитной установки, а также дублированное управление стрельбой из пушки и спаренного пулемета в дневное и ночное время. В состав комплекса ПНК-6 (см. рис. 1) входит прицел командира ТКН-6, электроблок ЭБ-6, блок управления головкой БУГ-6, блок коммутации БК-6 и датчик положения пушки с приводом параллелограммным.

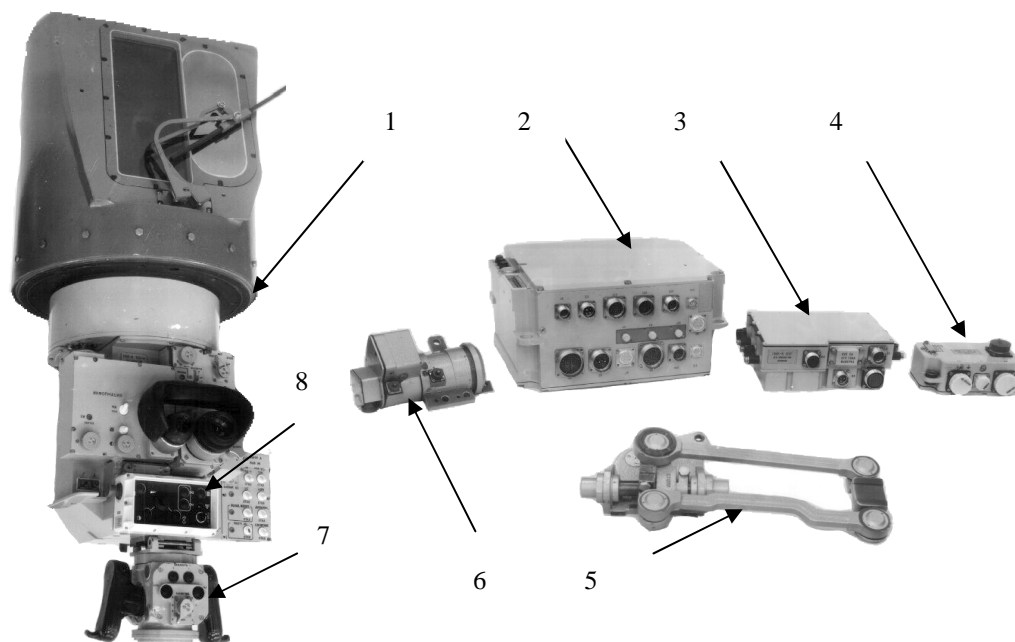


Рисунок 1 – Внешний вид составных частей комплекса ПНК-6

- 1 – прицел ТКН-6; 2 – электроблок ЭБ-6; 3 – блок управления головкой БУГ-6;
4 – блок коммутации БК-6; 5 – привод параллелограммный, 6 – датчик положения пушки,
7 – пульт наведения, 8 – пульт управления ТПВ-камеры

Основные технические характеристики комплекса ПНК-6 приведены в таблице 1.

Прицел ТКН-6 представляет собой панорамный телескопический прицел визуального наблюдения с независимой стабилизацией поля зрения в двух плоскостях с совмещенным лазерным дальномером. Для обеспечения поиска целей в ночное время суток и затрудненных метеоусловиях используется тепловизионный канал наблюдения, который разработан на основе применения тепловизионной (ТПВ) камеры «CATHERINE-FC» производства французской фирмы «Thales». Видеоизображение ТПВ-камеры выводится на микромонитор прицела ТКН-6, изображение которого вместе со служебной информацией проецируется в поле зрения окуляра информационного.

Таблица 1 – Основные технические характеристики комплекса ПНК-6

Система стабилизации: – тип стабилизатора – погрешность стабилизации, мрад	двухстепенной 0,05
Углы наведения линии визирования: – по азимуту – по вертикали	n×360° -20° ÷ 60°
Визуальный канал: – тип – кратность увеличения – поле зрения – дальность обнаружения цели типа «танк», м	оптический 1,2 ^x ; 6,0 ^x ; 12,0 ^x 30,0°; 10,0°; 5,5° 5500
Тепловизионный канал: – спектральный диапазон, мкм – угловое поле зрения – дальность обнаружения цели типа «танк», м	8–12 9,00°×6,75°; 3,00°×2,25°; 5000
Дальномерный канал: – длина волны излучения, мкм – диапазон измерения дальности, м – среднеквадратическая погрешность измерения, м	1,06 200–9500 5

Структурная схема интегрирования панорамного комплекса ПНК-6 в систему управления огнем танка приведена на рисунке 2.

Особенностью панорамного прицела ТКН-6 является необходимость обеспечения кругового обзора, за счет вращения устройства наблюдения. В данном случае, устройство наблюдения представляет собой головную часть прицела ТКН-6 (блок головки), в котором располагаются стабилизатор головного зеркала (поля зрения), обеспечивающий стабилизацию и наведение линии визирования и датчики углового положения головного зеркала, измеряющие положение линии визирования относительно осей стабилизации по высоте и горизонту. Учитывая, что стабилизатор поля зрения обеспечивает наведение головного зеркала по горизонту в пределах $\pm 8^\circ$, то в систему наведения линии визирования по горизонту прицела введен дополнительный контур слежения блока головки за угловым положением головного зеркала с обеспечением реверсивного кругового вращения. Для этого в структуру системы наведения панорамного прицела ТКН-6 введены датчик положения блока головки, цифровые преобразователи сигналов датчиков углового положения головного зеркала и блока головки и микроконтроллер, управляющий следящим приводом блока головки.

Привод блока головки представляет собой следящий контур, замкнутый через датчик углового положения блока головки. Для эффективного подавления возмущающего воздействия в прицеле ТКН-6 реализовано комбинированное управление приводом блока головки, при котором в управляющее воздействие наряду с заданным перемещением вводится производная от него (скорость вращения блока головки), позволяющее значительно снизить ошибку задающего воздействия. Для этого вместе с задающим воздействием в контур управления приводом блока головки вводится сигнал коррекции пропорциональный скорости вращения блока головки, полученный в результате вторичной обработки сигналов углового положения головного зеркала и блока головки. Разработанная микропроцессорная система управления следящим приводом блока головки обеспечивает следующие характеристики канала наведения линии визирования:

- минимальную угловую скорость слежения, не более – 0,05 °/с;
- максимальную угловую скорость слежения, не менее – 20 °/с;
- скорость переброса, не менее – 40 °/с;
- максимальное ускорение, не менее – 110 °/с;
- максимальную ошибку слежения, не более – 30''.

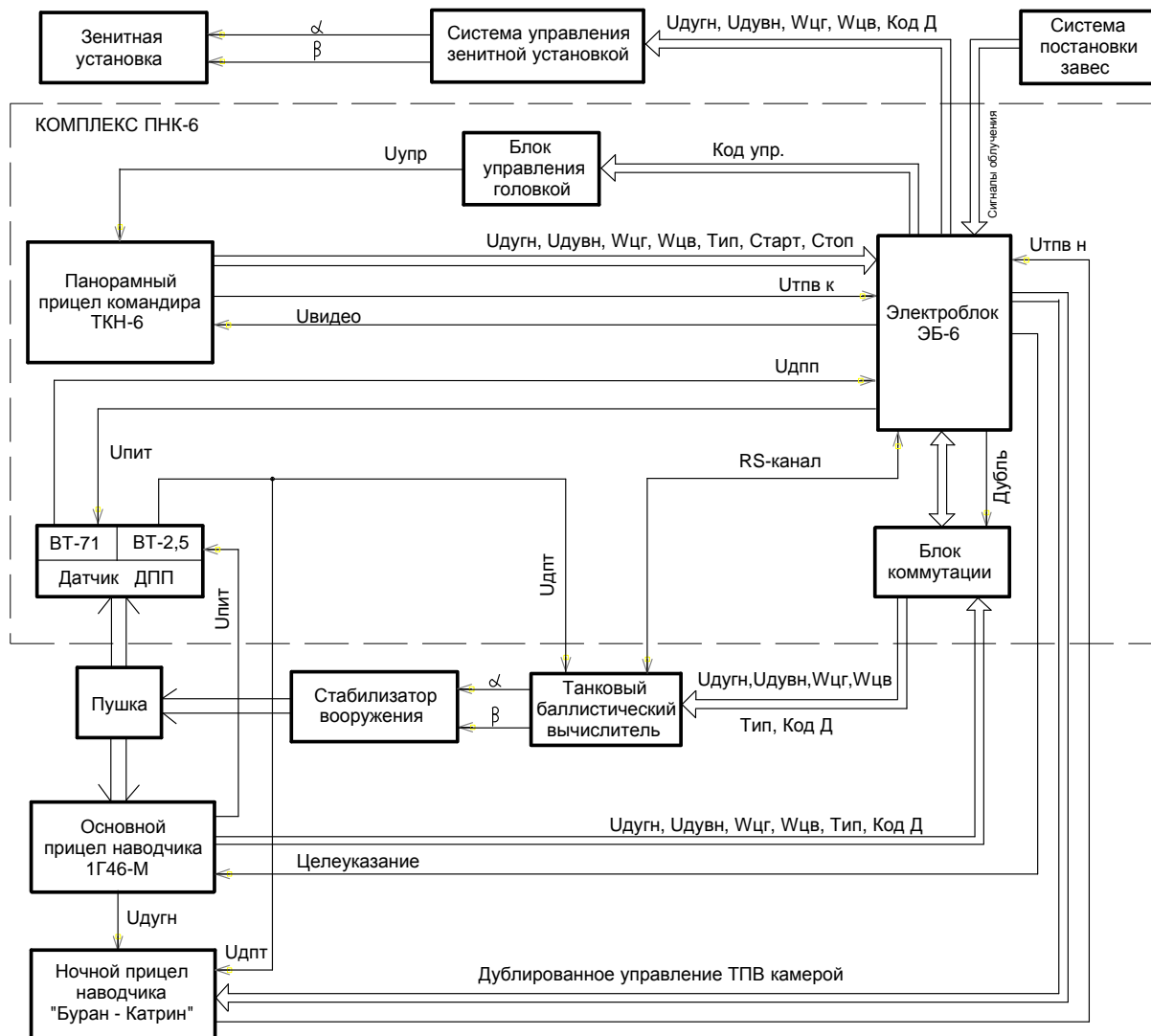


Рисунок 2 – Структурная схема интегрирования панорамного комплекса ПНК-6 в систему управления огнем танка

Другой особенностью применения панорамного прицела в СУО танка является необходимость предоставления командиру танка в режиме кругового наблюдения информацию об ориентации положения линии визирования панорамного прицела относительно направления пушки по горизонту и движения танка. В прицеле ТКН-6 применена система визуализации информации об угловом положении линии визирования в виде индексов, и условных изображений корпуса танка, башни (направления пушки по горизонтали) и линии визирования. В качестве базы отсчета ориентирования линии визирования выбрано направление пушки по горизонту (положение башни), относительно которой производится ориентирование линии визирования и направления движения танка (положение корпуса танка). При этом информация в виде изображения условных индексов (положения башни в виде неподвижного индекса, а направления линии визирования и движения танка в виде вращающихся индексов) выводится на экран микромонитора окуляра информационного. На рисунке 3 представлен вид служебной информации отображаемой в поле зрения окуляра информационного.

Кроме информации об ориентации линии визирования в поле зрения окуляра информационного выводится информация о рабочем состоянии комплекса ПНК-6 и сопряженных с комплексом систем танка, а именно:

- индексы установленного режима работы комплекса – «НАБЛ» (наблюдение), «ДУБЛЬ» (дублированное управление стрельбой), «ЗУ» (управление стрельбой из зенитной установки); «ЦУ» (целеуказание»);
- индексы выбранного типа снаряда в режиме дублированного управления – «Б» (бронебойный), «О» (осколочный), «Н» (кумулятивный), «У» (управляемый), «П» (стрельба из спаренного с пушкой пулемета);
- индекс готовности пушки к выстрелу – «▲»;
- индекс готовности дальномера к работе – «Д»;
- значение измеренной дальности до цели в метрах – «2570» (в виде 4-х знакомест);
- индексы количество целей находящихся в створе излучения дальномера, дальность до которых измерена (не более трех) – «●●●» (индекс цели, значение дальности до которой высвечивается в окуляре информационном – мигает);
- значения угла прицеливания и упреждения, вычисленные танковым баллистическим вычислителем – « $\alpha = 05$ » и « $\beta = -32$ ».
- индексы обнаружения лазерного облучения танка – «←→» (четыре стрелки расположенные симметрично вокруг индекса башни танка, при наличии облучения индекс стрелки мигает и показывает направление лазерного источника излучения).

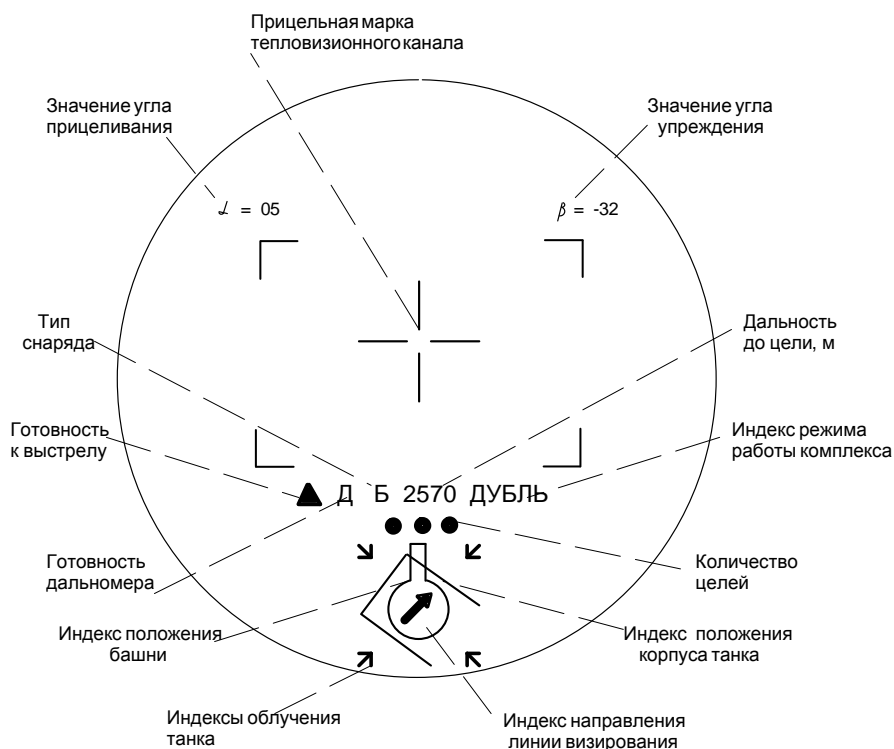


Рисунок 3 – Вид служебной информации отображаемой в поле зрения окуляра информационного

С помощью формирователя служебной информации, расположенного в электроблоке ЭБ-6, обеспечивается формирование видеосигнала служебной информации, который смешивается с видеосигналом ТПВ-камеры и поступает на микромонитор окуляра информационного. В случае затемнения изображения служебной информацией предусмотрена возможность оперативного выключения служебной информации, а также возможность отображения служебной информации при выключенной ТПВ-камере. Это позволило без усложнения работы командира интегрировать комплекс ПНК-6 в систему управления огнем танка и обеспечить совместную работу со следующей аппаратурой танка:

- баллистическим вычислителем;

– автоматом заряджання пушки;
 – зенитної установкою;
 – системою постановки завес, входящої в комплекс оптико-електронного протидейства «Варта».

Особенностью визуального канала наблюдения панорамного прицела ТКН-6 является наличие трех ступеней увеличения – $1,2^x$; $6,0^x$ и $12,0^x$, а также обеспечение выдачи целеуказания наводчику на выбранную командиром цель. Это позволяет командиру оптимизировать процесс поиска и обнаружение целей. Для быстрого обзора и выявления участков возможного нахождения целей служит первая ступень увеличения $1,2^x$, обеспечивающая большое поле зрения прицела в пределах не менее 30° . Для обнаружения и опознания целей предназначены вторая и третья ступени увеличения $6,0^x$ и 12^x . Наличие 12-ти кратного увеличения визуального канала обеспечивает обнаружение целей на дальностях, превышающих дальность прицельной стрельбы противника, а также возможность точного прицеливания, особенно при стрельбе в процессе движения танка.

Известно [3], что при непрерывном (круговом) просмотре поля поиска, превышающем угловое поле зрения, вероятность обнаружения цели зависит от допустимой скорости поиска (скорости наведения линии визирования), которая в свою очередь зависит от параметров цели: её контраста с фоном, углового размера и угловой скорости. Т.е. вероятность обнаружения цели зависит не только от оптических параметров визуального канала наблюдения, но и методов наведения линии визирования на цель. Используя подход о допустимой скорости поиска цели, в системе наведения линии визирования панорамного прицела ТКН-6 реализован способ адаптивного управления скоростью наведения [4], который предусматривает автоматическое регулирование скорости наведения в соответствии с допустимым значением скорости поиска.

Способ базируется на схемотехнической реализации аналитического выражения для определения максимальной скорости наведения $\omega_{\max}^{пл}$ линии визирования прицела, в соответствии с изменением кратности увеличения оптической системы наблюдения и дальности до цели:

$$\omega_{\max}^{пл} = \begin{cases} k\omega_0/\Gamma_{oc} ; \text{ при } D_{ц} \geq D_{\max} \\ k\omega_0/\Gamma_{oc} \times \sqrt{\left(D_{\max}/D_{ц}\right)^3} ; \text{ при } D_{ц} \leq D_{\max} \end{cases} ,$$

где k – коэффициент пропорциональности; ω_0 – допустимая скорость наведения линии визирования при однократном увеличении оптической системы наблюдения; Γ_{oc} – кратность увеличения оптической системы наблюдения; $D_{ц}$ – дальность до объекта; D_{\max} – максимальная дальность обнаружения объекта.

В режиме наблюдения и поиска цели регулирование угловой скорости наведения осуществляется в соответствии с изменением кратности увеличения оптической системы наблюдения, а в режиме дублированного управления вооружением танка – с учётом измеренной дальностью до цели. Причем сброс ограничения скорости наведения обеспечивается автоматически при повороте пульта наведения на углы включения максимальной скорости наведения по высоте и направлению, а также после сброса значения дальности до цели. Регулирование максимальной плавной скорости наведения линии визирования прицела ТКН-6 обеспечивается в диапазоне от $0,25$ до 3 °/с. Это позволяет повысить вероятность обнаружения цели при поиске и увеличить точность слежения за движущейся целью, а, следовательно, и точность ведения прицельной стрельбы в режиме дублированного управления.

Кроме того, увеличение углов наведения линии прицеливания по вертикали до 60° , а максимальной скорости наведения до 10 °/с обеспечивает возможность использования прицела ТКН-6 для управления стрельбой из зенитной установки. Это позволяло исключить из состава СУО танка зенитный прицел ПЗУ-7, а также повысить эффективность стрельбы из зенитной установки за счет расширения сектора стрельбы и независимой двух плоскостной стабилизации поля зрения прицела ТКН-6. Управление прицельной стрельбой из зенитной установки (см. рис. 2) осуществляется с помощью системы управления зенитной установкой (блок СУЗУ). При наведении линии визирования на цель сигналы пропорциональ-

ные угловому положению цели по горизонту (Удугн) и высоте (Удувн), угловой скорости цели по горизонту (Wгн) и высоте (Wвн), а также измеренная дальность до цели (Код Д) формируемые прицелом ТКН-6, по цифровому каналу обмена поступают в блок СУЗУ. Блок СУЗУ рассчитывает углы прицеливания α и упреждения β зенитной установки и управляет её наведением на цель.

Конструктивной особенностью реализации дублированного управления стрельбой из пушки и спаренного пулемета с места командира является формирование комплексом ПНК-6 управляющих сигналов, поступающих на танковый баллистический вычислитель (ТБВ), идентичным сигналам основного прицела наводчика 1Г46-М. Это позволяет без доработок прицела наводчика и ТБВ реализовать дублированное управление с места командира за счет ввода блока коммутации БК-6, который обеспечивает коммутацию сигналов управления (Удугн, Удувн, Wгн, Wвн, Код Д, Тип снаряда) формируемых прицелом 1Г46-М или прицелом ТКН-6 на вход ТБВ. Коммутация сигналов осуществляется по сигналу «Дубль», формируемого при включении командиром на приборе ТКН-6 режима дублированного управления.

Кроме того, при интеграции комплекса ПНК-6 в СУО танка необходимо было решить задачу обеспечения стрельбы управляемым снарядом с места командира. В этом случае в режиме дублированного управления вооружением наведение линии визирования прицела «Буран-Катрин» и основного прицела наводчика 1Г46-М осуществляется с помощью пульта наведения прицела командира ТКН-6. Одновременно тепловизионное изображение от прицела «Буран-Катрин» поступает в прицел командира ТКН-6 и проецируется в информационном окуляре, обеспечивая командиру возможность наведения управляемого снаряда на цель по тепловизионному изображению цели от прицела наводчика.

Особенностью канала дальнометрирования панорамного прицела ТКН-6 является введение нескольких режимов селекции целей при измерении дальности, позволяющих вести эффективную борьбу с ложными измерениями дальности при воздействии как пассивных, так и активных помех, таких как:

- измерение дальности до первой цели;
- амплитудно-временная селекция отраженных импульсов с автоматическим выделением наиболее достоверного значения дальности до выбранной цели;
- стробирование целей по дальности (строб дальности 1400 м и 2400 м).

Измерение дальности до цели в прицеле ТКН-6 производится с помощью встроенного лазерного дальномера с длиной волны излучения 1,06 мкм, при этом обеспечивается возможность измерения дальности до трех целей находящихся в створе излучения дальномера. Дальность действия лазерного дальномера составляет от 200 до 9500 м, а среднеквадратическая погрешность измерения не более ± 5 м.

Значение измеренной дальности до цели и количество измеренных целей до трех, находящихся в створе излучения, индицируются на микромониторе в поле зрения окуляра информационного. При необходимости в любом из выше перечисленных режимах селекции целей обеспечивается возможность циклического перебора дальностей всех измеренных целей, последовательно нажимая на пульте наведения прицела ТКН-6 кнопку "Цель". Наличие различных режимов селекции целей и одновременное измерение дальности до трех целей позволяет вести эффективную борьбу с ложными измерениями дальности при воздействии как пассивных, так и активных помех.

Таким образом, использование панорамного прицельного комплекса командира ПНК-6 в составе современного танка позволяет за счет глубокой интеграции в систему управления огнем танка значительно повысить его эффективность и реализовать следующие режимы работы:

- круговое наблюдение, поиск целей и выдача наводчику целеуказаний;
- стрельба из зенитной установки (независимая от действий наводчика);
- дублированное управление стрельбой из пушки;
- дублированное управление стрельбой из пулемета, спаренного с пушкой;
- дублированное управление стрельбой из пушки по тепловизионному изображению от ночного прицела наводчика, в том числе стрельба управляемым снарядом с места командира;
- одновременное измерение дальности до трех целей с обеспечением автоматической и ручной селекции целей;
- слежение за полем зрения наводчика;
- управление системой постановки дымовых завес.

Необходимо отметить, что модульный принцип построения конструкции комплекса ПНК-6 позволяет проводить его дальнейшую модернизацию в следующих направлениях:

- использования различных типов ТПВ-камер;

- сокращения габаритных размеров головной части прицепа при уменьшении требований к углам прокачки линии визирования по высоте;
- применения дальномера с безопасной длиной излучения 1,54 мкм;
- использования оптико-телевизионного визира;
- использования различных видов гироскопов.

Литература

1. Гордиенко В.И., Хомченко А.Я. Круговой обзор повышает живучесть танка // Defense express. Экспорт оружия и оборонный комплекс Украины. –К., 2007. –№7-8. –С. 62-63.
- 2 Пат. 49006 Україна, МПК F41G 3/02. Панорамний прицільно-спостережувальний комплекс ПНК-6 / Гордієнко В.І, Хомченко О.Я, Замосенчук В.М, Бурковський А.О., Голуб О.Г., Явнанов Ю.З. (Україна); Заявл. 09.11.2010; Опубл. 12.04.2010; Бюл. №7. –4 с.: іл.
3. Травникова Н.П. Эффективность визуального поиска. –М.: Машиностроение, 1985. –128 с.
4. Пат. 75129 Україна, МПК F41G 3/02. Спосіб наведення лінії прицілювання для систем керування озброєнням об'єктів бронетанкової техніки / Хомченко О.Я, Гордієнко В.І, Замосенчук В.М, Ревякін Л.Д. (Україна); Заявл. 17.10.2003; Опубл. 15.03.2006; Бюл. №3. –6 с.: іл.

Bibliography (transliterated)

1. Gordienko V.I., Homchenko A.Ja. Krugovoj obzor povyshaet zhivuchest' tanka Defense express. Jeksport oruzhija i oboronnyj kompleks Ukrainy. –K., 2007. –#7-8. –p. 62-63.
- 2 Pat. 49006 Ukraïna, MPK F41G 3 02. Panoramnij pricil'no-sposterezhuval'nij kompleks PNK-6 Gordienko V.I, Homchenko O.Ja, Zamosenchuk V.M, Burkovs'kij A.O., Golub O.G., Javnanov Ju.Z. (Ukraina); Zajavl. 09.11.2010; Opubl. 12.04.2010; Bjul. #7. –4 p.: il.
3. Travnikova N.P. Jeffektivnost' vizual'nogo poiska. –M.: Mashinostroenie, 1985. -128 p.
4. Pat. 75129 Ukraïna, MPK F41G 3 02. Sposib navedennja liniï priciljuvannja dlja sistem keruvannja ozbroennjam ob'ektiv bronetankovoï tehniki Homchenko O.Ja, Gordienko V.I, Zamosenchuk V.M, Revjakin L.D. (Ukraina); Zajavl. 17.10.2003; Opubl. 15.03.2006; Bjul. #3. –6 p.: il.

УДК 621.396:623.438.02

Гордієнко В.І., Хомченко О.Я.

**ОСОБЛИВОСТІ ІНТЕГРУВАННЯ ПАНОРАМНОГО ПРИЦІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ
В СИСТЕМУ КЕРУВАННЯ ВОГНЕМ ТАНКА**

Описано панорамний прицільно-спостережувальний комплекс командира ПНК-6 призначений для модернізації системи керування вогнем танка.

Приведений опис конструкції, технічні характеристики, а також конструктивні особливості інтегрування комплексу в систему керування вогнем сучасного танка.

Gordienko V., Khomchenko A.

**PECULIARITIES OF PANORAMIC SIGHT COMPLEX INTEGRITY INTO THE FIRING CONTROL
SYSTEM OF THE TANK**

The panoramic sight – observation complex of PNK-6 commander is presented. It's applied for modernization of firing control system of the tank.

The construction description, technical characteristic, also peculiarities of panoramic sight complex integrity into the firing control system of modern tank are provided.

Товажнянский Л.Л., Ульев Л.М., Мельниковская Л.А., Зулин Б.Д.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ АВТ А12/2 В РЕЖИМЕ РАБОТЫ БЕЗ ВАКУУМНОГО БЛОКА В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ**Введение**

Украина является одной из старейших нефтедобывающих стран мира. Добыча нефти из ее недр производится уже более ста лет. На территории Украины находится три нефтегазовых района: Карпатский (Западный), Днепровско-Донецкий (Восточный) и Причерноморско-Крымский (Южный). В пределах этих районов открыто 331 месторождение нефти и газа с начальными разведанными запасами 3440 млн. т.у.т., из них 238 месторождений находится в промышленной и исследовательско-промышленной эксплуатации, а на остальных производится подготовка к промышленной эксплуатации [1].

Географическое расположение месторождений нефти и экономическое развитие страны стали предпосылкой создания мощной нефтеперерабатывающей промышленности в Украине. До 1990 года в стране было построено шесть нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) общей мощностью 62 млн. т сырой нефти в год. При этом средняя мощность переработки Кременчугского НПЗ (сейчас ООО «Кременчугнефтеоргсинтез») составляла 18.6 млн. т, Одесского (ООО «Лукойл – Одесский НПЗ») – 8.6 млн. т, Дрогобицкого (ООО «НПК – Галитчина») – 3.9 млн. т, Надвирнянского (ООО «Нефтехимик – Прикарпатья») – 3.4 млн. т, Лисичанского (ООО Лисичанскнефтеоргсинтез») – 23.5 млн. т.

Установки атмосферно-вакуумной трубчатки (АВТ) являются основой всех нефтеперерабатывающих заводов, т.к. вся сырая нефть проходит через эти установки. Поэтому особое внимание следует уделить повышению эффективности работы существующих АВТ и уменьшению удельных затрат на переработку нефти.

Пути и методы совершенствования энергоэффективности установок АВТ хорошо известны, и в последние два десятилетия получили широкое распространение в индустриально развитых странах. Прежде всего, это методы интеграции процессов и, в частности, метод пинч-анализа [2, 3].

В работе [4] анализируются методы достижения минимального удельного потребления энергии в химико-технологических системах, основанные на пинч-анализе, с помощью которых определяется энергосберегающий потенциал в процессе первичной переработке нефти. В работе [5] показано, что применение методов пинч-анализа на установках первичной переработки нефти позволяет уменьшить горячие утилиты на величину ~ 40 % от существующего значения. В работе [6] показано, что применение методов пинч-реконструкции на установках первичной переработки нефти и коксования позволяет уменьшить горячие утилиты на 37 %, а холодные на 90 %. При этом в работе [5] тепловая интеграция проводилась только для 9 технологических потоков, а в работе [6] для 13 потоков.

В работе [7] были приведены результаты экстракции данных, сбор которых осуществлялся с помощью стационарных и переносных термометров и расходомеров. После замеров и уточнения данных в программе Unisim Design были получены наиболее точные данные о технологических потоках установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока. В работе [8] определен энергосберегающий потенциал рассматриваемой установки. Технологическая схема установки приведена в работе [7].

Моделирование схемы установки в программе Unisim Design.

Для уточнения регламентированных данных была смоделирована схема установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока в программе Unisim Design. Сначала блока обессоливания и обезвоживания нефти, затем блока фракционирования обессоленной и обезвоженной нефти.

Моделирование в Unisim Design позволило составить таблицу потоковых данных, которая является цифровым образом рассматриваемого процесса первичной переработки нефти. Здесь собраны все необходимые технологические характеристики для расчета энергосберегающего потенциала установки (табл. 1).

Далее, после построения сеточных диаграмм процесса, расчета дополнительной площади теплообмена и ее стоимости, будет смоделирована схема проекта реконструкции установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока. Это позволит проверить работоспособность предложенного проекта реконструкции. Кроме того, моделирование в Unisim Design позволит уточнить данные, полученные в результате расчетов, провести более точную оценку экономической эффективности проекта и срок его окупаемости.

Таблица 1 – Поточковые данные технологических потоков, включенных в интеграцию для режима работы АВТ А12/2 без вакуумного блока в зимнее время

№	Название потока	Тип	T_s , °C	T_T , °C	G, т/ч	C, кДж/(кг·K)	r, кДж/кг	CP, кВт/К	ΔH , кВт	α , кВт/(м ² ·K)
1	Переток К-1,1а в К-3	гор	173	54	8,20	2,11		4,81	571,93	0,4
2,1	Охлаждение паров бензина К-1, 1а	гор	145	50	29,69	2,52		20,78	1974,36	0,1
2,2	Охлаждение газа из К-1, 1а	гор	145	40	2,78	2,52		1,95	204,33	0,1
2,3	Конденсация паров бензина К-1, 1а	гор	50	50	29,69		75		618,53	1
2,4	Охлаждение бензина К-1, 1а	гор	50	40	29,69	2,11		17,40	174,01	0,4
3,1	Охлаждение паров бензина К-3	гор	157	46	17,40	2,52		12,18	1351,98	0,1
3,2	Конденсация паров бензина К-3	гор	46	46	17,40		75		362,50	1
3,3	Охлаждение водяных паров К-3	гор	157	100	1,05	2,00		0,58	32,96	0,12
3,4	Конденсация водяных паров К-3	гор	100	100	1,05		2256		658,00	2
3,5	Охлаждение воды К-3	гор	100	46	1,05	4,19		1,22	65,99	0,8
4	Дизельное топливо	гор	229	200	71,11	2,70		68,29	1980,27	0,2
		гор	200	100	71,11	2,42		58,81	5880,67	0,2
		гор	100	58	71,11	2,10		51,76	2174,05	0,2
5	Циркуляционное орошение К-3	гор	165	74	75,79	2,11		55,87	5083,79	0,15
6	Циркуляционное орошение К-2,2а	гор	295	144	30,73	2,11		29,85	4507,90	0,15
7	Мазут	гор	360	300	133,08	2,90		150,01	9000,85	0,15
		гор	300	250	133,1	2,71		135,78	6789,08	0,15
		гор	250	200	133,1	2,54		122,99	6149,54	0,15
		гор	200	150	133,1	2,36		109,87	5493,37	0,15
		гор	150	90	133,1	2,17		95,69	5741,42	0,15
8	Солевой р-р с ЭЛОУ	гор	115	40	15,05	4,21		17,14	1285,61	0,8
9	Сырая нефть	хол	10	50	250,85	1,95		142,55	5701,96	0,1
		хол	50	118	250,85	2,10		170,22	11574,78	0,1
10	Обессоленная нефть	хол	112	150	248,34	2,28		192,17	7302,34	0,15
		хол	150	200	248,34	2,47		214,40	10720,07	0,15
		хол	200	214	248,34	2,65		231,36	3239,06	0,15
11	Отбензиненная нефть в АЗАЧП П-1	хол	214	250	56,00	2,75		54,87	1975,49	0,15
		хол	250	300	56,00	2,84		59,75	2987,44	
		хол	300	371	56,00	3,18		66,73	4737,86	
	Отбензиненная нефть в АЗВЧП П-1	хол	214	250	26,00	2,75		25,48	917,19	0,15
		хол	250	300	26,00	2,84		27,74	1387,03	
		хол	300	310	26,00	2,97		29,42	294,16	
12	Отбензиненная нефть в ЛЗ П-2	хол	214	250	64,00	2,75		62,71	2257,71	0,15
		хол	250	300	64,00	2,84		68,28	3414,22	
		хол	300	370	64,00	3,18		76,17	5331,73	
	Отбензиненная нефть в ПЗ П-2	хол	214	250	64,00	2,75		62,71	2257,71	0,15
		хол	250	300	64,00	2,84		68,28	3414,22	
		хол	300	370	64,00	3,18		76,17	5331,73	
13	Мазут через ВЗВЧП П-1	хол	360	407	53,29	2,90		65,68	3086,84	0,15
14	Вода на ЭЛОУ	хол	10	80	12,54	4,20		14,60	1021,87	0,8
15	Перегрев пара в П-1	хол	135	450	1,05	2,69		2,60	819,88	0,6
16	Газ к печам	хол	31	80	3,00	2,52		2,10	102,90	0,1
17	Мазут в печи	хол	49	80	3,79	2,05		2,32	71,80	0,1

Энергосберегающий потенциал установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока. Методы его достижения

В предыдущих работах было найдено значение энергосберегающего потенциала установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока с помощью методов пинч-проектирования, в частности, с применением аппарата составных кривых [2, 3].

Данные методы позволяют определить температуру пинча, то есть определить область на энтальпийно-температурной диаграмме составных кривых процесса, через которую необходимо запретить перенос тепловой энергии. Это позволит избежать значительного завышения площади теплообмена и, соответственно, тепловых потерь на оборудовании.

Энергосберегающий потенциал данной установки составляет величину 31,5 МВт, то есть реконструкция позволит повысить мощность рекуперации энергии более, чем в 2 раза, что наглядно представлено на энтальпийно-температурных диаграммах составных кривых, построенных для существующего процесса (рис. 1) и для интегрированного процесса (рис. 2).

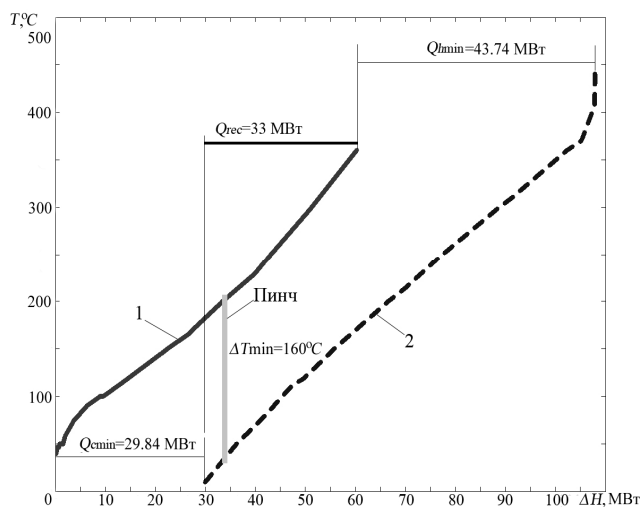


Рисунок 1 – Составные кривые существующего процесса: 1 – горячая составная кривая; 2 – холодная составная кривая; Q_{hmin} – минимальное количество горячих утилит; Q_{cmin} – минимальное количество холодных утилит; Q_{rec} – мощность рекуперации энергии; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

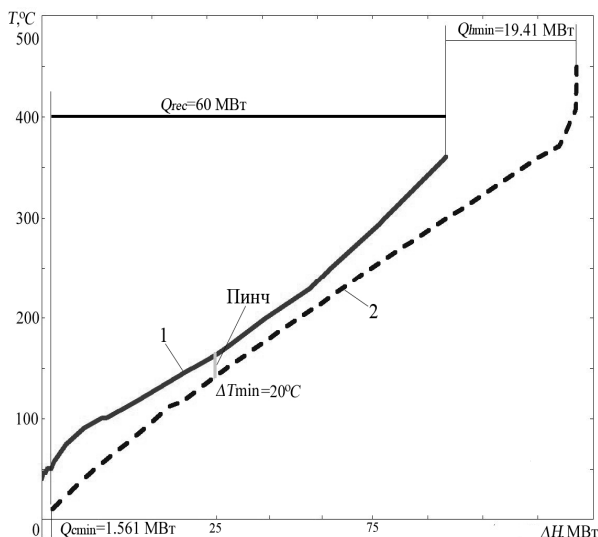


Рисунок 2 – Составные кривые интегрированного процесса: 1 – горячая составная кривая; 2 – холодная составная кривая; Q_{hmin} – минимальное количество горячих утилит; Q_{cmin} – минимальное количество холодных утилит; Q_{rec} – мощность рекуперации энергии; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

Построение сеточных диаграмм установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока до и после реконструкции. Расчет дополнительной необходимой площади теплообмена. Методы пинч-проектирования позволяют идентифицировать технологические потоки и правильно расположить их на сеточной диаграмме относительно области пинча (рис. 3).

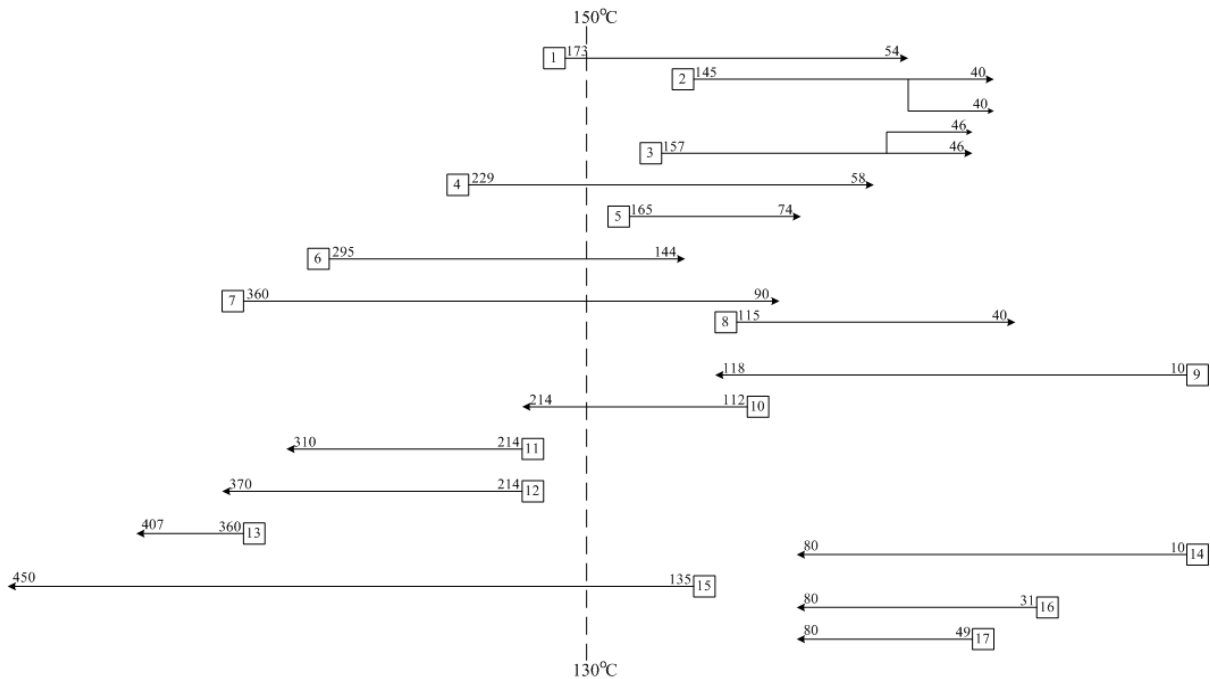


Рисунок 3 – Популяция технологических потоков на установке АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока

Из рис. 3 видно, что значительное количество потоков пересекает линию пинча. В то же время известно, что область пинча делит систему технологических потоков рассматриваемого процесса на две энергетически независимые подсистемы, каждая из которых находится в тепловом равновесии со своими утилитами, т.е. в тепловой сети с максимальной рекуперацией энергии для данного ΔT_{\min} и максимальным потреблением внешней энергии мы должны запретить передачу тепловой энергии через пинч. Для этого, используя правила и методы пинч-анализа, выполняем отдельно проекты тепловых сетей выше пинча (рис. 4) и ниже пинча (рис. 5), и сшиваем их на температурах пинча (рис. 6). Синтезируя сеточную диаграмму технологической сети теплообмена установки АВТ А12/2 выше пинча, необходимо удовлетворять энергетическим требованиям холодных и горячих потоков и горячих утилит, входящих в подсистему технологических потоков расположенную выше пинча.

Горячий поток №1, т.е. переток из К1, 1а в К3 выше пинча имеет незначительную тепловую нагрузку $\Delta H = 14$ кВт по сравнению с остальными потоками из подсистемы, находящейся выше пинча, поэтому ему можно разрешить переносить теплоту через пинч, к тому же, такой перенос теплоты уменьшит уже имеющиеся утилиты ниже пинча.

Поток №4, дизельное топливо, приводится к своей пинчевой температуре с помощью теплообмена с расщепленным потоком №10 – обессоленной нефти.

Горячий поток №6 – поток циркуляционного орошения колон К2, 2а, приводится к пинч-температуре за счет теплообмена с ветвями холодных потоков №11, 12 – отбензиненной нефти и ветвью потока №10.

Горячий поток №7 приводится к пинч-температуре за счет теплообмена с холодным потоком отбензиненной нефти и ветвями потока обессоленной нефти. Холодные потоки №11, 12, 13 и 15 не могут быть полностью доведены от пинч-температуры до своих целевых температур с помощью теплообмена с горячими потоками и поэтому для удовлетворения их энергетических запросов необходимо использовать горячие утилиты. В качестве горячих утилит выше пинча может быть использована трубчатая печь, т.е. в печи должно нагреваться 4 потока: №11 – отбензиненная нефть из К-1, №12 – отбензиненная нефть из К1а, №13 – поток мазута и поток пара №15.

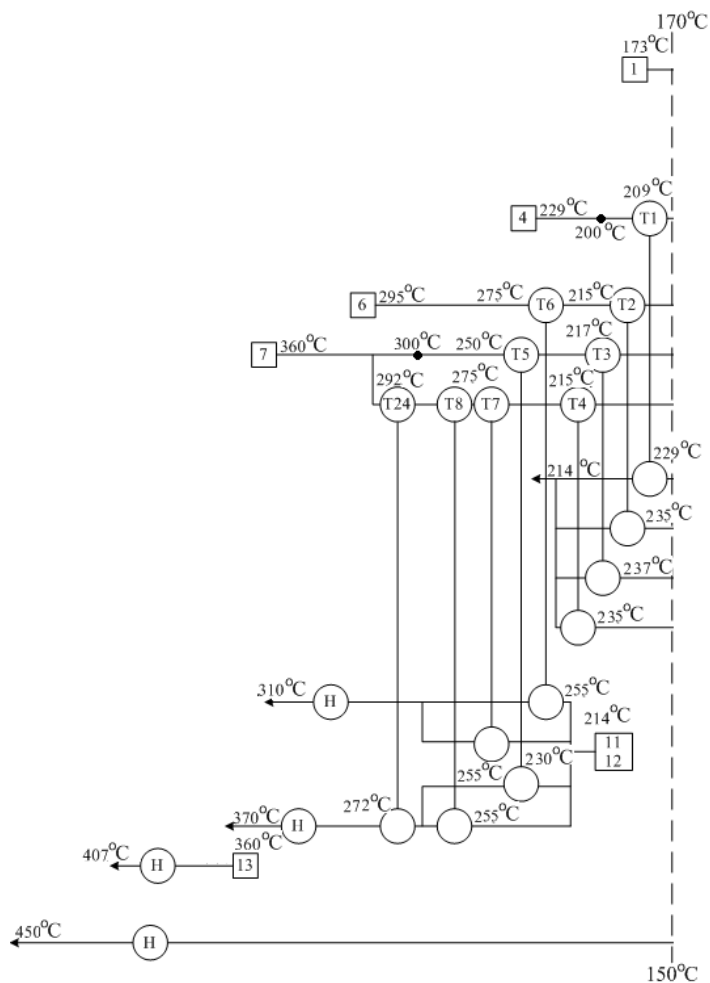


Рисунок 4 – Сеточная диаграмма подсистемы выше пинча:
Т – теплообменный аппарат; Н - подогреватель

Аналогично строим сеточную диаграмму теплообменной сети ниже пинча. Нагрев пара разумно производить в печи без предварительного подогрева его в теплообменниках. Размещение теплообменных связей между горячими и холодными потоками вполне понятно из рис. 5.

Ни одна из связей не нарушает принцип ΔT_{\min} , и все потоки удовлетворяются в своих энергетических требованиях. Далее объединяем построение сеточных диаграмм на пинче и получаем сеточную диаграмму проекта системы теплообмена установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока. Здесь следует заметить, что потоки № 11 и № 12 на самом деле представляют один поток отбензиненной нефти, который сейчас расщепляется и направляется для подогрева в разные печи.

После реконструкции теплообменной системы, скорее всего, от одной из печей можно будет отказаться, и данный поток будет направляться в одну печь.

Общая мощность потребляемых горячих утилит в данной сети теплообмена, равна $Q_{\text{Hmin}}=19,4$ МВт и только 43 кВт переносится через пинч. Мощность холодных утилит удалось снизить до значения около 1,6 МВт, что позволило отказаться от большинства холодильников.

В полученной теплообменной сети используются 22 рекуперативные теплообменные связи. Оценка общей площади поверхности теплообмена на 22-х размещениях составляет величину, равную 31052 м², но в существующей схеме уже установлено 12658 м² площади поверхности теплообмена кожухотрубчатых теплообменников, поэтому дополнительной поверхности будет необходимо только 18394 м².

Но поскольку у существующих теплообменников площадь поверхности теплообмена определена и суммарный ее ряд дискретен, то размещение существующих теплообменников на новые позиции будет выполняться с некоторым запасом по поверхности (табл. 2), и, поэтому дополнительная площадь поверхности теплообмена составит величину 20286 м².

Принципиальная технологическая схема проекта реконструкции установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока, смоделированная в Unisim Design для проверки работоспособности, пред-

ставлена на рис. 7. Данный проект позволит уменьшить мощность потребляемой в процессе энергии на 25,5 МВт. Это значение относится только к той мощности, которая идет непосредственно на ректификацию нефти.

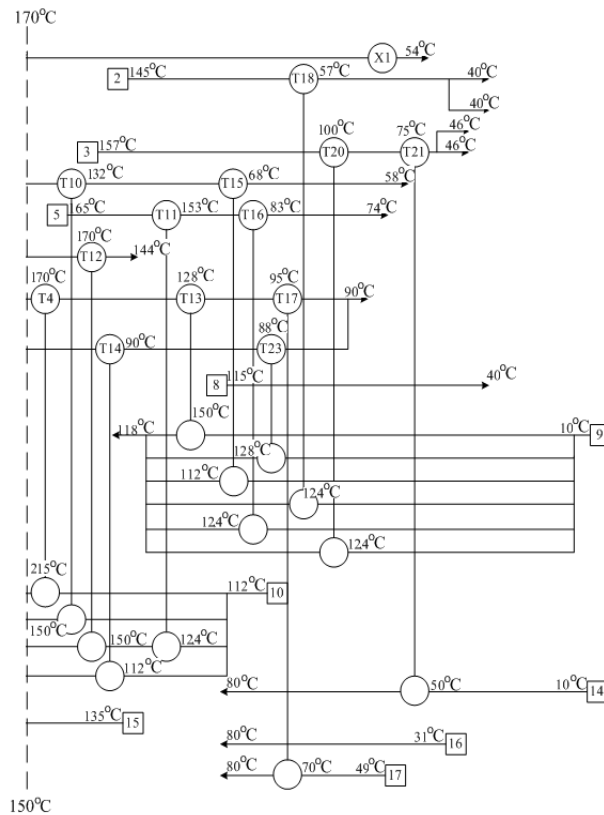


Рисунок 5 – Сеточная диаграмма процесса ниже пинча: X – холодильник; Т – теплообменный аппарат

К ней следует добавить еще снижение мощности тепловых потерь за счет нанесения теплоизоляции на открытые нагретые поверхности, которые мы оценили значением ~ 6 МВт, и, следовательно, реконструкция уменьшит мощность энергопотребления на установке АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока на 31,5 МВт, что вполне хорошо согласуется с результатом, полученном нами ранее с помощью аппарата составных кривых.

Здесь еще раз необходимо заметить, что каждая из теплообменных связей, показанная на рис. 4 и 5 может содержать, как следует из табл. 2, несколько тысяч квадратных метров теплообменной поверхности, и поэтому может состоять из нескольких теплообменных аппаратов или кожухотрубчатых секций.

Далее, используя цены на теплообменное оборудование, полученные от его производителей, можем еще до выполнения проекта реконструкции оценить необходимые капвложения и срок их окупаемости. Для кожухотрубчатых теплообменников, стоимость 1 м² поверхности теплообмена можно оценить величиной в 20 долл. США, а для аналогичных российских аппаратов – величиной в 60 долл. США. Стоимость установленного оборудования в два раза превышает его рыночную стоимость, то есть мы можем принять для оценки стоимости инсталлированного оборудования величину в 110-120 дол. США за

1 м² площади поверхности теплообмена.

Капитальную стоимость одного теплообменного аппарата можно определить выражением [9]:

$$\text{Кап.стоимость} = A_T + B_T \cdot (S)^c, \tag{1}$$

где $A_T = 5000$ дол. США – стоимость установки одного теплообменного аппарата; B_T – коэффициент, эквивалентный стоимости 1 м² площади поверхности теплообмена; S – площадь поверхности теплообмена теплообменного аппарата; c – коэффициент, который отображает нелинейную зависимость стоимости теплообменника от величины его поверхности теплообмена. Для кожухотрубчатых теплообменников,

как правило, $c = 0,87$. Таким образом, стоимость дополнительной площади теплообмена составит 14411200 грн.

Таблица 2 – Таблица теплообменников для проекта реконструкции теплообменной сети АВТ А12/2 для зимнего режима работы без вакуумного блока

№	Горячий поток			Холодный поток			$\Delta T_{\min},$ °C	Q, кВт	S, м ²	Существующие теплообменники на новых позициях
	№	T _{вх.} , °C	T _{вых.} , °C	№	T _{вх.} , °C	T _{вых.} , °C				
T1	4	229	170	12	150	209	20	3745	2570	необходимо 2570 м ²
T2	6	235	170	12	150	215	20	1940	1522	необходимо 1522 м ²
T3	7	250	170	12	150	217	20	5689	3438	T-22,21,20,19,18,17,8,7,6,5,4,3
T4	8	235	170	12	150	215	20	2585	2027	необходимо 2027 м ²
T5	7	360	250	14	214	292	36	9441	2943	необходимо 2943 м ²
T6	6	295	235	13	214	275	20	1791	1371	необходимо 1371 м ²
T7	8	330	235	13	214	292	21	4617	1737	T-24,10,23,25,28, X-6
T8	9	336	250	14	214	292	36	828	407	T-11,12 + 227 м ²
T9	7	170	132	12	112	150	20	2350	1843	T-34,33,32,31,15,26,27
T10	4	170	132	12	112	150	20	2235	1534	T-14,13,2,1, X-5,8
T11	5	165	153	12	112	124	41	663	274	X-7
T12	6	170	144	12	124	150	20	776	609	T-16,9
T13	8	170	132	12	112	150	20	1278	520	XK-2
T14	7	132	90	11	10	112	20	2410	1092	необходимо 1092 м ²
T15	4	132	58	11	10	112	20	4056	2238	необходимо 2238 м ²
T16	5	153	74	11	10	124	29	4421	1961	необходимо 1961 м ²
T17	8	132	68	11	10	112	20	1962	1078	необходимо 1078 м ²
T18	2	145	40	11	10	124	21	2971	1847	необходимо 1847 м ²
T19	1	173	54	16	15	87	39	572	104	X-4
T20	3	157	100	11	10	124	33	1457	603	необходимо 603 м ²
T21	3	100	46	17	10	80	20	1022	81	T-30
T22	10	115	40	16	15	87	25	1267	446	XK-1
T23	7	90	88	19	31	70	20	75	33	необходимо 33 м ²
T24	7	360	326	14	292	306	34	2028	736	необходимо 736 м ²
X1	1	173	54	Охл. вода	20	60	34	572	38	необходимо 38 м ²
ВСЕГО									31052	Необходимо 20286 м²
НЕОБХОДИМО									20286	

Проект реконструкции установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока

Используя полученные данные, моделируем проект реконструкции установки АВТ А12/2, представленный на рис. 7. Это позволит проверить работоспособность пре дложенного проекта, а также подтвердить целесообразность его разработки и внедрения в производство.

Выводы

В результате проектирования схемы реконструкции установки первичной переработки нефти АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока в зимнее время были построены сеточные диаграммы для подсистем выше и ниже пинча. Затем они были сшиты на пинче, что позволило получить конечный вариант сеточной диаграммы проекта реконструкции. Далее, была рассчитана дополнительная необходимая площадь теплообмена и ее стоимость, которая составила 14,4 млн. грн. Годовая прибыль от внедрения данного проекта составит величину 3387900 дол. США, а срок окупаемости проекта не превысит 1 года [8].

Предложенная схема проекта реконструкции была смоделирована в программе UniSim Design, что подтвердило работоспособность проекта и целесообразность его внедрения.

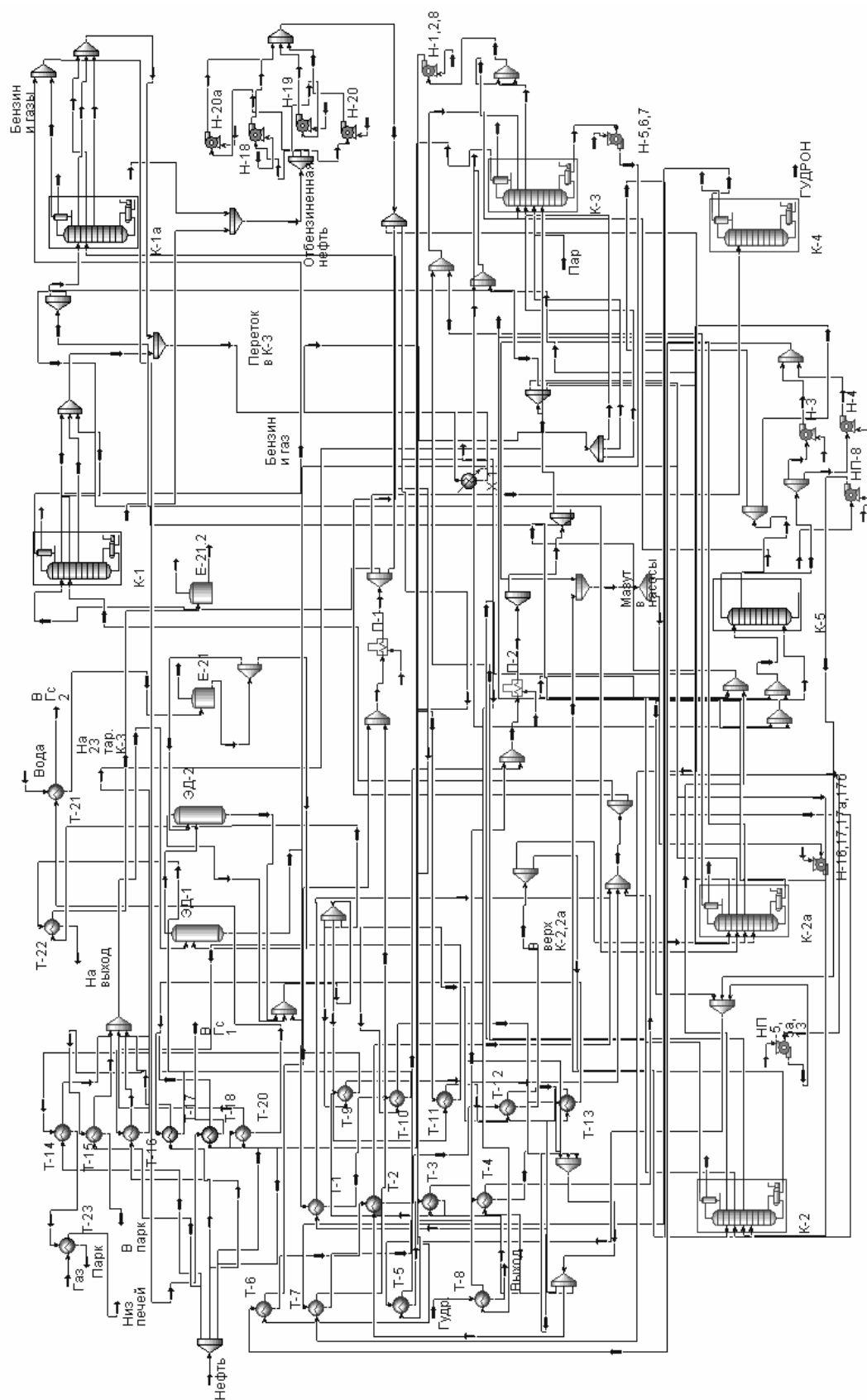


Рисунок 7 – Принципиальная технологическая схема проекта реконструкции установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока, смоделированная в Unisim Design: Е – емкости; К1, К1а – атмосферные ректификационные колонны; К2, К2а – ректификационные колонны разгона отбензиненной нефти; К3 – ректификационная колонна для получения дизельного топлива; К4 – вакуумная колонна; К5 – отпарная колонна; Н, НП – насосы; П – трубчатая печь; Т – теплообменные аппараты; Х – холодильники; ЭД – электродегидратор

Обозначения. CP – потоковая теплоемкость, Вт/°С; c – удельная теплоемкость, Дж/(кг · °С); G – массовый расход, кг/с; H – потоковое теплосодержание, Вт; t – температура, °С; t_s – температура снабжения, °С; t_T – целевая температура, °С; r – теплота фазового перехода, Дж/кг; ΔT_{\min} – минимальная разность температур; ЭЛОУ – электрообессоливающая установка; АВТ – атмосферно-вакуумная трубчатка; АЗАЧП – атмосферный змеевик атмосферной части печи; АЗВЧП – атмосферный змеевик вакуумной части печи; ВЗВЧП – вакуумный змеевик вакуумной части печи; ЦО – циркуляционное орошение; ДТ – дизельное топливо; ГС – газосепаратор; ЛЗ – левый змеевик; ПЗ – правый змеевик; К-1, К-1а – атмосферные ректификационные колонны; К-2, К-2а – ректификационные колонны разгонки отбензиненной нефти; К-3 – ректификационная колонна для получения дизельного топлива; К-4 – вакуумная колонна; К-5 – отпарная колонна; П – трубчатая печь; Х – холодильник; ХК – холодильник-конденсатор; Т – теплообменный аппарат.

Литература

1. Стратегія енергозбереження в Україні / [Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Загальні засади енергозбереження / За ред.. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія] –К.: Академперіодика, 2006. – Т. 1. – 510 с.
2. Smith R. Chemical Process Design and Integration / R. Smith – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, – 2005. – 688 p.
3. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев. – Харьков: Издательский центр НТУ «ХПИ», 2000. – 457 с.
4. Bagajewicz M.J. Energy savings horizons for the retrofit of chemical processes. Application to crude fractionation units / M.J. Bagajewicz // Computers and Chemical Engineering. – 1998. – V. 23. –No. 1. –P. 1–9.
5. Querzoli A.L. Identification of Heat Integration Retrofit Opportunities for Crude Distillation and Residue Cracking Units /A. L. Querzoli, A. F. A. Hoadley, T. E. S. Dyson // Korean J. Chem. Eng. –2003. – V. 20. –No. 4. –P. 635–641.
6. Bulasara V.K. Revamp study of crude distillation unit heat exchanger network: Energy integration potential of delayed coking unit free hot streams / Vijaya Kumar Bulasara, Ramgopal Uppaluri, Alope Kumar Ghoshal // Applied Thermal Engineering –2009. –Vol. 29. –Issues 11-12. – P. 2271–2279.
7. Товажнянский Л.Л. Экстракция данных для теплоэнергетического интегрирования процесса первичной переработки нефти на установке АВТ А12/2 / Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульев, Л.А. Мельниковская, Б.Д. Зулин // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2010. – №1. – С. 53–64.
8. Товажнянский Л.Л. Термодинамически обоснованный энергосберегающий потенциал установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока /Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульев, Л.А. Мельниковская, Б.Д. Зулин // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2010. – №2. – С. 3–13.
9. Nordman R. New process integration methods for heat-saving retrofit projects in industrial systems Thesis for the degree of doctor of philosophy / R. Nordman – Göteborg: Printed by Chalmers Reproservice, Sweden. 2005. – 77 p.

Bibliography (transliterated)

1. Strategija energozberezhennja v Ukraïni [Analitichno-dovidkovi materiali v 2-h tomah: Zagal'ni zasady energozberezhennja / Za red.. V.A. Zhovtjans'kogo, M.M. Kulika, B.S. Stognija] –K.: Akademperiodika, 2006. – T. 1. – 510 p.
2. Smith R. Chemical Process Design and Integration R. Smith – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, – 2005. – 688 p.
3. Smit R. Osnovy integracii teplovyh processov R. Smit, J. Klemesh, L.L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, L.M. Ul'ev. – Har'kov: Izdatel'skij centr NTU «HPI», 2000. – 457 p.
4. Bagajewicz M.J. Energy savings horizons for the retrofit of chemical processes. Application to crude fractionation units M.J. Bagajewicz Computers and Chemical Engineering. – 1998. – V. 23. –No. 1. –P. 1–9.
5. Querzoli A.L. Identification of Heat Integration Retrofit Opportunities for Crude Distillation and Residue Cracking Units A. L. Querzoli, A. F. A. Hoadley, T. E. S. Dyson Korean J. Chem. Eng. –2003. – V. 20. –No. 4. –P. 635–641.
6. Bulasara V.K. Revamp study of crude distillation unit heat exchanger network: Energy integration potential of delayed coking unit free hot streams Vijaya Kumar Bulasara, Ramgopal Uppaluri, Alope Kumar Ghoshal Applied Thermal Engineering –2009. –Vol. 29. –Issues 11-12. – P. 2271–2279.
7. Tovazhnjanskij L.L. Jekstrakcija dannyh dlja teploenergeticheskogo integririvanija processa pervichnoj pererabotki nefiti na ustanovke AVT A12 2 L.L. Tovazhnjanskij, L.M. Ul'ev, L.A. Mel'nikovskaja, B.D. Zulin Integrirovannye tehnologii i jenergosberezenie. – 2010. – #1. – p. 53–64.

8. Tovazhnjanskij L.L. Termodinamicheski obosnovannyj jenergosberegajushhij potencial ustanovki AVT A12 2 v rezhime raboty bez vakuumnogo bloka L.L. Tovazhnjanskij, L.M. Ul'ev, L.A. Mel'nikovskaja, B.D. Zulin Integririvannye tehnologii i jenergosberezhenie. – 2010. – #2. – p. 3–13.

9. Nordman R. New process integration methods for heat-saving retrofit projects in industrial systems Thesis for the degree of doctor of philosophy R. Nordman – Göteborg: Printed by Chalmers Reprservice, Sweden. 2005. – 77 p.

УДК 658.26:665.63:338.45

Товажнянський Л.Л., Ульєв Л.М., Мельніковська Л.О., Зулін Б.Д.

ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМИ РЕКОНСТРУКЦІЇ УСТАНОВКИ ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ АВТ А12/2 В РЕЖИМІ РОБОТИ БЕЗ ВАКУУМНОГО БЛОКУ В ЗИМОВИЙ ЧАС

В результаті проектування схеми реконструкції установки первинної переробки нафти АВТ А12/2 в режимі роботи без вакуумного блоку в зимовий час були побудовані сіткові діаграми для підсистем вище і нижче пінча. Потім вони були зшиті на пінче, що дозволило отримати кінцевий варіант сіткової діаграми проекту реконструкції. Далі, була розрахована додаткова необхідна площа теплообміну і її вартість, яка склала 14,4 млн. грн.

Запропонована схема проекту реконструкції була змодельована в програмі UniSim Design, що підтвердило працездатність проекту і доцільність його впровадження.

Tovazshniansky L.L., Ulyev L.V., Melnikovska L.O., Zulin B.D.

DESIGN OF RETROFIT FLOWSHEET OF CRUDE DISTILLATION UNIT AVDU A12/2 IN WINTER RUN WITHOUT VACUUM COLUMN

The grid diagram for process crude distillation at AVDU A12/2 was built in this paper for work in winter run without vacuum column. Extra area of heat exchange surface and its cost were found. Flowsheet of proposed retrofit project was simulated in UniSim Design. This confirmed the availability of the project and reasonability its implementation.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГЛІЦЕРОЛІЗУ ЖИРІВ КОМБІНУВАННЯМ МЕТОДІВ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ І НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

В теперішній час актуальним напрямом розвитку олійно-жирової галузі є випуск продуктів функціонального призначення. Продукти називають «функціональними», якщо вони містять нутрієнти, що спрямовано позитивно впливають на здоров'я людини та перешкоджають виникненню різноманітних захворювань [1]. Перспективним напрямом у цій сфері є олія, збагачена діацилгліцерином. Встановлено, що при прийомі діацилгліцеринової олії відбувається зниження ресинтезу триацилгліцеринів в епітелії кишечника та їх транспорту з кишечника в печінку. Вказана олія перешкоджає розвитку жирової інфільтрації печінки, а також дозволяє запобігти накопиченню жирової маси та попередити розвиток тригліцеридемії та холестеринемії [2].

Технологію отримання олії, збагаченої діацилгліцерином, методом ферментативного гліцеролізу жирів розроблено та удосконалюється в Національному технічному університеті «ХПІ» [3,4].

Раніше проведені нами дослідження з вивчення кінетики і механізму ферментативного гліцеролізу жирів показали, що протікання цього процесу визначається чотирма основними факторами: співвідношенням вихідних реагентів – триацилгліцеринів (ТАГ) і гліцерину, кількістю ферменту, температурою та часом [5,6]. Встановлено, що зсув від оптимального співвідношення субстратів у бік збільшення вмісту гліцерину веде до надлишкового утворення небажаних побічних продуктів – моноацилгліцеринів, а у бік збільшення вмісту у вихідній суміші триацилгліцеринів – до зменшення виходу цільового продукту за рахунок зниження ступеня перетворення ТАГ. Ферменти, що використовуються, є досить дорогими препаратами, тому їх кількість бажано мінімізувати, при цьому забезпечуючи протікання ферментативних процесів з максимальним виходом продуктів реакції. Вказаний процес є ендотермічним, тобто вимагає підведення тепла. У той же час за межею температури стабільності позитивний ефект підвищення температури внаслідок білкової природи ферменту тією чи іншою мірою компенсується негативним ефектом теплової денатурації. Точка повної компенсації є оптимальною температурою для дії ферменту. Оптимум часу протікання процесу обумовлюється з однієї сторони забезпеченням максимально можливого в заданих умовах виходу діацилгліцеринів, з іншого боку – мінімізацією утворення побічних продуктів.

Тому метою представленої роботи є встановлення оптимальних параметрів ферментативного гліцеролізу жирів з використанням як критерія оптимізації максимального виходу діацилгліцеринів.

У якості модельних триацилгліцеринів (ТАГ) було обрано соняшникову олію, яка у своєму складі містить найпоширеніші жирні кислоти [7]. Модельні суміші складались з соняшникової олії та гліцерину у мольних співвідношеннях від 1:5 до 5 : 1. Реакцію каталізували за допомогою ферментного препарату Novozym 435 («Novozymes», Данія). Кількість біокаталізатора – від 2 % до 20 % мас. по відношенню до маси реакційної суміші. Процес проводили при температурах від 30 °С до 70 °С при постійному перемішуванні під шаром азоту. Час реакції варіювали від 60 до 300 хвилин. У визначені проміжки часу відбирались проби, ліпідний склад яких аналізувався методом високотемпературної газорідинної хроматографії у відповідності із AOCS Official Method Cd 11b-91 [8]. Використовувався хроматограф Shimadzu GC-2010 Gas Chromatography (Shimadzu Corporation), оснащений полум'яно-іонізаційним детектором (ПД). Колонка HP-5, капілярна; її геометричні параметри: довжина 30 м, 0,25 мм внутрішній діаметр, 0,25 мкм товщина нерухомої фази. Стаціонарна фаза 5 % діфеніл – 95 % диметилполісилоксан. Температурна програма 80 °С (0 хв.), 10 °С/хв. до 350 °С (15 хв.). Температура інжектора – 320 °С, температура детектора – 350 °С. Газ-носієй – гелій. Швидкість газу-носія 3 см³/хв. Витрата повітря для ПД – 300 см³/хв., витрата водню для ПД – 30 см³/хв.

Отримані експериментальні дані (середнє значення двох паралельних досліджень) використовувались в якості вихідних для моделювання та оптимізації параметрів процесу ферментативного гліцеролізу.

Донедавна одним з основних підходів, який використовувався при оптимізації параметрів процесів у хімічній технології, було проведення повнофакторного експерименту з побудовою функції відклику, яка знаходилась шляхом апроксимації наявних експериментальних даних і мала наступний вигляд:

$$\hat{y}(x, a) = a_0 + \sum_{l=1}^n a_l x_l + \sum_{k=1}^n a_k x_k^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n a_{ij} x_i x_j, \quad (1)$$

де $x \in R^n$ – вектор змінних, a – вектор параметрів.

Головною проблемою при знаходженні функції відклику є визначення невідомих значень вектора параметрів a , яка може бути вирішена шляхом застосування різних алгоритмів регресійного аналізу або алгоритмів оптимізації (мінімізації) функціонала відхилення (2):

$$J(x) = \sum_{i=0}^m \|y_i - \hat{y}(x, a)\|^2, \quad (2)$$

де m – кількість експериментальних даних y .

Крім того, рішення даної задачі ускладнюється тим фактом, що навіть при досить невеликій розмірності вектора змінних x утворюється дуже велика кількість елементів вектора параметрів a . Зокрема, для процесу ферментативного гліцеролізу вектор змінних має розмірність 4, а вектор параметрів – 15. Таким чином, розглянутий метод не може повною мірою та з достатньою точністю описувати факторний простір експерименту.

Одним із сучасних підходів до завдання апроксимації функцій багатьох змінних складної або невідомої структури, до яких належить й досліджувана нами, є використання штучних нейронних мереж [9–11]. Головною особливістю такого підходу є відхід від необхідності обчислення значень параметрів апроксимуючої функції до можливості одержання безпосереднього значення досліджуваної величини в заданій точці простору вектора змінних x .

Штучні нейронні мережі (ШНМ) – математичні моделі, а також їх програмні або апаратні реалізації, побудовані за принципом організації та функціонування біологічних нейронних мереж. ШНМ являють собою систему з'єднаних і взаємодіючих простих процесорів (штучних нейронів). Зазначені мережі не програмуються у звичному змісті цього слова, вони навчаються. Можливість навчання – одне з головних переваг нейронних мереж перед традиційними алгоритмами. Технічно навчання полягає в знаходженні коефіцієнтів зв'язків між нейронами. У процесі навчання нейронна мережа здатна виявляти складні залежності між вхідними даними й вихідними, а також виконувати узагальнення. Це означає, що у випадку успішного навчання мережа зможе повернути правильний результат на підставі даних, які були відсутні в навчальній вибірці.

Попереднє моделювання процесу ферментативного гліцеролізу полягало у визначенні структури мережі, яке виконувалося шляхом проведення ряду обчислювальних експериментів з різними параметрами топології – кількість шарів, кількість нейронів у шарі, активаційна функція та інші. У результаті для апроксимації експериментальних даних нами була побудована тришарова мережа прямої передачі сигналу з 21 і 9 нейронами в першому й другому (схованих) шарах відповідно, і 1 нейроном у третьому (вихідному) шарі. Структура розробленої мережі представлена на рис. 1.

У якості функції активації схованих шарів і вихідного шару була обрана гіперболічна тангенціальна функція. Як функцію оцінки якості навчання був використаний комбінований критерій якості. У якості алгоритму адаптації та навчання – алгоритм Левенберга–Макрквадта. Кількість епох навчання – 100. Точність – 0,0001.

Програмна реалізація апарата штучних нейронних систем була виконана з використанням Neural Network Toolbox середовища MATLAB 7 (The Mathworks, Inc.).

Дані раніше проведених експериментів по ферментативному гліцеролізу жирів використовувалися для тренування та верифікації штучної нейронної мережі. Обсяг навчальної та верифікаційної вибірок дорівнював відповідно 105 та 20 вимірювань. Їх структура та значення представлені відповідно в таблицях 1 і 2. Для більш якісної роботи алгоритмів тренування нейронної мережі вихідні дані масштабувалися в діапазон [-1;1] за виразом (3):

$$y = \frac{(y_{\max} - y_{\min}) \cdot (x - x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}} + y_{\min}, \quad (3)$$

де y – відмасштабовані дані; x – вихідні дані, x_{\min} та x_{\max} – мінімальне та максимальне значення вихідних даних; y_{\min} та y_{\max} – мінімальне та максимальне значення нового діапазону.

Дані, наведені в табл. 1 і 2, свідчать про адекватність нейронної мережі експериментальним даним. Середнє значення абсолютного відхилення модельних даних від експериментальних у навчальній вибірці склало 1,7 %, а у верифікаційній – 2,4 %.

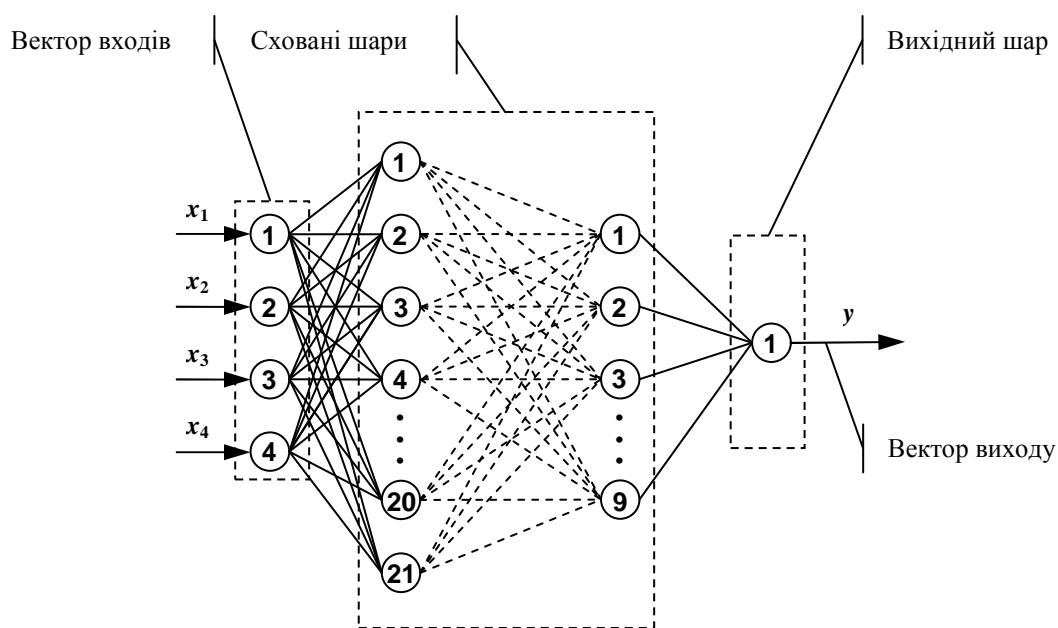


Рисунок 1 – Схема тришарової мережі прямої передачі сигналу

Таблиця 1 – Фрагмент навчальної вибірки

ТАГ:Гл	Кількість ферменту, % мас.	Температура, °С	Час, хв.	Вміст ДАГ, % мас.		Абсолютне відхилення, %
				Експеримент	Модель	
x_1	x_2	x_3	x_4	y		
0,2	10	30	90	5,20	5,40	3,8 %
0,2	10	50	90	10,18	10,13	0,5 %
0,2	10	70	90	20,30	20,41	0,5 %
1	2	30	120	6,80	6,72	1,2 %
1	2	30	180	12,80	13,10	2,3 %
1	2	30	240	18,70	19,20	2,7 %
1	2	30	300	20,50	19,82	3,3 %
1	2	40	90	4,97	5,14	3,4 %
1	2	60	90	9,30	9,05	2,7 %
1	10	50	60	28,40	28,79	1,4 %
1	10	50	90	37,92	37,26	1,7 %
1	10	50	150	45,74	47,30	3,4 %
1	10	50	210	50,15	48,90	2,5 %
1	10	60	90	46,32	47,62	2,8 %
1	10	60	120	50,68	49,57	2,2 %
1	10	60	150	48,21	48,53	0,7 %
1	10	70	60	47,44	47,02	0,9 %
1	10	70	120	50,10	49,73	0,7 %
1	10	70	180	42,20	42,50	0,7 %
1	10	70	240	42,00	41,56	1,0 %
1	10	70	300	41,90	41,98	0,2 %
1	15	70	90	49,40	49,65	0,5 %
1	20	70	60	51,70	49,93	3,4 %
5	10	30	90	2,45	2,54	3,7 %
5	10	50	90	5,80	5,90	1,7 %
5	10	70	90	11,60	11,57	0,3 %

Розроблена в результаті конструювання, навчання і верифікації багатошарова штучна нейронна мережа далі використовувалася для побудови цільової функції оптимізації ферментативного гліцеролізу методом генетичних алгоритмів.

Таблиця 2 – Верифікаційна вибірка

ТАГ:Гл	Кількість ферменту, % мас.	Температура, °С	Час, хв.	Вміст ДАГ, % мас.		Абсолютне відхилення, %
				Експеримент	Модель	
x_1	x_2	x_3	x_4	y		
0,2	10	40	90	7,35	7,15	2,7%
0,2	10	60	90	15,10	14,47	4,2%
1	2	30	90	3,16	3,30	4,4%
1	2	30	150	10,40	10,22	1,7%
1	2	30	210	15,30	15,25	0,3%
1	2	50	90	6,20	6,57	6,0%
1	2	70	90	12,20	12,05	1,2%
1	10	30	90	25,60	25,19	1,6%
1	10	50	120	43,07	44,06	2,3%
1	10	50	180	47,90	48,81	1,9%
1	10	50	240	48,20	47,77	0,9%
1	10	60	60	39,50	40,02	1,3%
1	10	60	180	44,85	46,85	4,5%
1	10	70	150	46,00	43,69	5,0%
1	10	70	210	42,12	41,23	2,1%
1	10	70	270	41,90	42,02	0,3%
1	10	90	90	37,30	38,01	1,9%
1	20	70	90	45,50	47,12	3,6%
5	10	40	90	4,12	4,18	1,5%
5	10	60	90	8,50	8,37	1,5%

Генетичні алгоритми – це процедури пошуку, засновані на механізмах природного добору і спадкування. У них використовується еволюційний принцип виживання найбільш пристосованих особин. Вказані алгоритми відрізняються від традиційних методів оптимізації декількома базовими елементами. Зокрема: обробляють не значення параметрів самої задачі, а їх закодовану форму; здійснюють пошук рішення, виходячи не з єдиної точки, а з їхньої деякої популяції; використовують тільки цільову функцію, а не її похідну або іншу додаткову інформацію; застосовують імовірнісні, а не детерміновані правила вибору [12–14]. Усі перераховані властивості обумовлюють той факт, що у цей час апарат генетичних алгоритмів є одним з найбільш сучасних і найкращих методів оптимізації складних поліпараметричних та багатоекстремальних функціональних залежностей, до яких належить процес ферментативного гліцеролізу.

Було обрано наступну схему функціонування апарата генетичних алгоритмів (рис. 2).

На рис. 2 пунктиром позначені основні операції генетичних алгоритмів, проведених над елітними елементами популяції. Обчислення функції пристосованості здійснювалося з використанням отриманої нейронної мережі.

Для оптимізації процесу ферментативного гліцеролізу були задані наступні значення параметрів апарата генетичних алгоритмів: обсяг вибірки – 200, кількість елітних нащадків – 20, кількість поколінь – 50. У якості функцій мутації та схрещування використовувалися відповідно адаптивна і евристична функції.

На рис. 3 представлені найкращі (максимальні) значення функції пристосованості на відповідному поколінні функціонування генетичних алгоритмів.

Починаючи з 28 покоління (рис. 3) спостерігається наявність сталого значення функції відклику, що відповідає встановленню її оптимуму – вмісту 52,2 % мас. діацилгліцеринів у складі продукту ферментативного гліцеролізу. Цей результат досягається при наступних розрахункових значеннях вихідних параметрів: співвідношенням триацилгліцеринів і гліцерину – 1:1, кількість ферменту – 10 % мас. по відношенню до маси реакційної суміші, температура – 70 °С, час реакції – 90 хвилин.

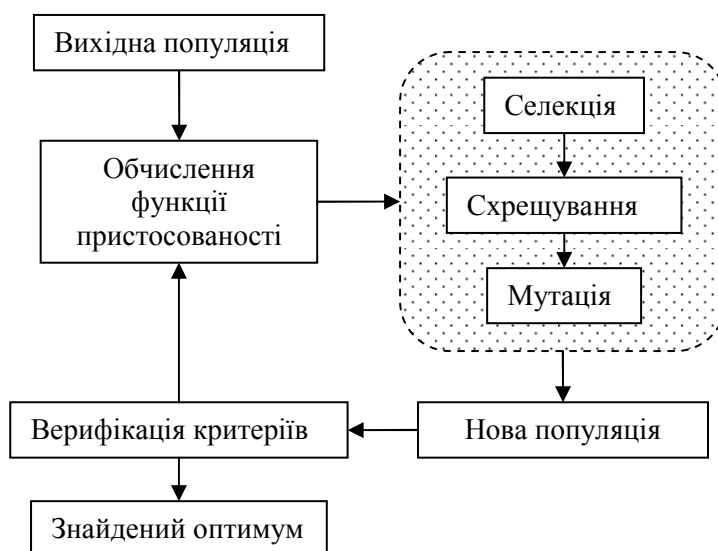


Рисунок 2 – Схема функціонування апарату генетичних алгоритмів

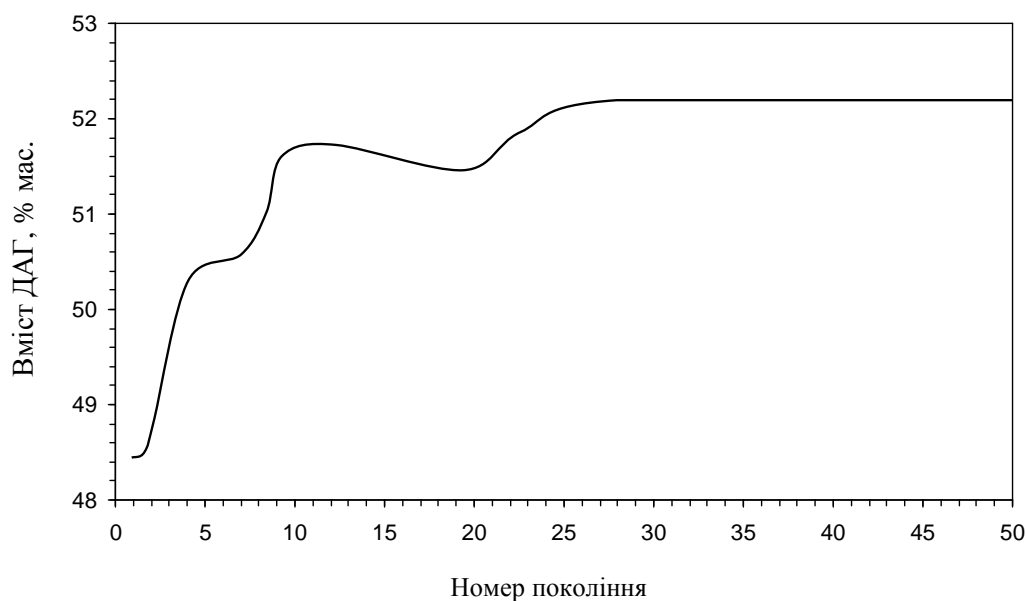


Рисунок 3 – Процес оптимізації ферментативного гліцеролізу комбінуванням методів генетичних алгоритмів і нейронних мереж

Встановлені оптимальні параметри ферментативного гліцеролізу були апробовані в умовах дослідно-промислового виробництва жирів, збагачених діацилгліцерином, на ВАТ «Іллічівський олійно-жировий комбінат». Згідно результатів випробувань вміст діацилгліцеринів в продуктах гліцеролізу становив $51 \pm 1,5$ % мас., що добре корелюється із даними моделювання.

Література

1. Neeser J.R., German J.B. Bioprocesses and biotechnology for functional foods and nutraceuticals / J.R.Neeser, J.B.German. – New York: Marcel Dekker. Inc., 2004. – 484 p.
2. Некрасов П.О. Дослідження харчової цінності діацилгліцеринової олії / П.О. Некрасов, О.В. Подлісна, В.Г. Гопкалов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2010. – №11. – С. 170–177.

3. Некрасов, П.О. Ферментативна енергозберігаюча технологія жирів функціонального призначення / П.О. Некрасов, О.В. Подлісна, Ю.М. Плахотна // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2008.– №32. – С. 311–317.
4. Некрасов П.О. Оптимізація процесу молекулярної дистиляції при отриманні жирів, збагачених діацилгліцеринами / П.О. Некрасов // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ "ХПІ", 2009.– №3. – С. 75–81.
5. Некрасов П.О. Дослідження механізму ферментативного гліцеролізу жирів / П.О. Некрасов // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ "ХПІ", 2009.– №4. – С. 50–55.
6. Некрасов П.О. Термодинамічні аспекти процесу ферментативного гліцеролізу жирів / П.О. Некрасов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2010. – №22. – С. 19–25.
7. О'Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состава и свойства, применение / Р. О'Брайен; пер. с англ. 2-го изд. В.Д. Широкова, Д.А. Бабейкиной, Н.С. Селивановой, Н.В. Магды. – СПб.: Профессия, 2007. – 752 с.
8. AOCS. In: Firestone D, editor. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemist's Society. 5th ed. Champaign, IL: American Oil Chemists' Society (AOCS), 2003.
9. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание / С. Хайкин. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
10. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский; пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 452 с.
11. Baishan F.. Using genetic algorithms coupling neural networks in a study of xylitol production: medium optimisation / F. Baishan, C. Hongwen, X. Xiaolan, W. Ning, H. Zongding // Process Biochemistry. – 2003. – Vol. 38, №7. – P. 979–985.
12. Rezende M. Optimization of a large scale industrial reactor by genetic algorithms / M. Rezende, C. Costa, A. Costa, M. Maciel, R. Filho // Chemical Engineering Science. – 2008. – Vol. 63, №2. – P. 330–341.
13. Rajendra M. Prediction of optimized pretreatment process parameters for biodiesel production using ANN and GA / M. Rajendra, P. Jena, H. Raheman // Fuel. – 2009. – Vol. 88, №5. – P. 868–875.
14. Wang S. Predicting saturates of sour vacuum gas oil using artificial neural networks and genetic algorithms / S. Wang, X. Dong, R. Sun // Expert Systems with Applications. – 2010. – Vol. 37, №7. – P. 4768–4771.

Bibliography (transliterated)

1. Neeser J.R., German J.B. Bioprocesses and biotechnology for functional foods and nutraceuticals J.R.Neeser, J.B.German. – New York: Marcel Dekker. Inc., 2004. – 484 p.
2. Nekrasov P.O. Doslidzhennja harchovoї cinnosti diacilglicerinovoї oliї P.O. Nekrasov, O.V. Podlisna, V.G. Gopkalov Visnik Nacional'nogo tehcnogo universitetu "HPI". – Harkiv: NTU "HPI", 2010. – #11. – p. 170–177.
3. Nekrasov, P.O. Fermentativna energozberigajucha tehnologija zhiriv funkcional'nogo prizna-chennja P.O. Nekrasov, O.V. Podlisna, Ju.M. Plahotna Naukovi praci ONAHT. – Odesa, 2008.– #32. – p. 311–317.
4. Nekrasov P.O. Optimizacija procesu molekularnoj distiljacii pri otrimanni zhiriv, zbagachenih diacilglicerinami P.O. Nekrasov Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – Harkiv: NTU "HPI", 2009.– #3. – p. 75–81.
5. Nekrasov P.O. Doslidzhennja mehanizmu fermentativnogo glicerolizu zhiriv P.O. Nekrasov Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – Harkiv: NTU "HPI", 2009.– #4. – p. 50–55.
6. Nekrasov P.O. Termodinamichni aspekti procesu fermentativnogo glicerolizu zhiriv P.O. Nekrasov Visnik Nacional'nogo tehcnogo universitetu "HPI". – Harkiv: NTU "HPI", 2010. – #22. – p. 19–25.
7. O'Brajen R. Zhiry i masla. Proizvodstvo, sostava i svojstva, primenie R. O'Brajen; per. s angl. 2-go izd. V.D. Shirokova, D.A. Babejkinov, N.S. Selivanovoj, N.V. Magdy. – SPb.: Professija, 2007. – 752 p.
8. AOCS. In: Firestone D, editor. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemist's Society. 5th ed. Champaign, IL: American Oil Chemists' Society (AOCS), 2003.
9. Hajkin S. Nejronnye seti: polnyj kurs, 2-e izdanie S. Hajkin. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'jams», 2006. – 1104 p.
10. Rutkovskaja D. Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy D. Rutkovskaja, M. Pilin'skij, L. Rutkovskij; per. s pol'sk. I.D. Rudinskogo. – M.: Gorjachaja linija-Telekom, 2006. – 452 p.

11. Baishan F.. Using genetic algorithms coupling neural networks in a study of xylitol production: medium optimisation F. Baishan, C. Hongwen, X. Xiaolan, W. Ning, H. Zongding Process Biochemistry. – 2003. – Vol. 38, #7. – P. 979–985.
12. Rezende M. Optimization of a large scale industrial reactor by genetic algorithms M. Rezende, C. Costa, A. Costa, M. Maciel, R. Filho Chemical Engineering Science. – 2008. – Vol. 63, #2. – P. 330–341.
13. Rajendra M. Prediction of optimized pretreatment process parameters for biodiesel production using ANN and GA M. Rajendra, P. Jena, H. Raheman Fuel. – 2009. – Vol. 88, #5. – P. 868–875.
14. Wang S. Predicting saturates of sour vacuum gas oil using artificial neural networks and genetic algorithms S. Wang, X. Dong, R. Sun Expert Systems with Applications. – 2010. – Vol. 37, #7. – P. 4768–4771.

УДК 665:664.3

Некрасов П.А., Малько М.Н.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГЛИЦЕРОЛИЗА ЖИРОВ КОМБИНИРОВАНИЕМ МЕТОДОВ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Использование методов генетических алгоритмов и нейронных сетей позволило установить оптимальные режимы ферментативного глицеролиза жиров. Результаты лабораторных и опытно-промышленных испытаний подтвердили адекватность моделирования оптимума для основных четырех параметров процесса: соотношение субстратов, количество фермента, температура и время.

Nekrasov P.O., Malko M.M.

PROCESS PARAMETERS OPTIMIZATION OF ENZYMATIC GLYCEROLIZES OF FATS USING COMBINED NEURAL NETWORK GENETIC ALGORITHMS TECHNIQUE

Use of artificial neural network-genetic algorithm technique made it possible to determine optimal process parameters of enzymatic glycerolizes of fats. The results of laboratory and experimental-industrial tests corroborated optimum modeling adequacy for four primary process parameters: substrates ratio, enzyme amount, temperature and time.

ПРОБЛЕМА ЖИВУЧЕСТИ СТВОЛОВ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БОЕПРИПАСОВ ПОСЛЕГАРАНТИЙНЫХ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ

Опыт боевого применения оружия показывает, что оружие, обладающее хорошей действительностью огня и высокой маневренностью, не может получить признания, если оно не обеспечивает необходимой надежности действия. Надежность оружия обеспечивает уверенность солдата в своем оружии при использовании его в различных условиях. Причем безотказность действия механизмов стрелкового оружия должна обеспечиваться в любых условиях его использования, как при нормальных условиях стрельбы, так и при неблагоприятных.

Обеспечение безотказности действия автоматического оружия по сравнению с неавтоматическим оружием является более трудной задачей в силу его большей сложности и большего количества механизмов.

Ввиду массового изготовления оружия особенно большое значение в настоящее время приобретает проблема живучести оружия, в частности живучести стволов как основного элемента, обеспечивающего баллистические свойства боеприпаса. Вопрос о живучести стволов является чрезвычайно важным, так как в настоящее время ствол имеет относительно низкий ресурс по сравнению с другими частями оружия. Нередко продолжительность службы автоматики в целом оказывается на порядок больше, чем живучесть ствола. Эта диспропорция стимулирует поиски пути повышения живучести стволов. Основными причинами, вызывающими износ нарезных стволов, являются: максимальное давление и температура пороховых газов в стволе; давление снаряда на боковую грань нарезки; трение о поверхность канала при движении пули по нарезам [1–4].

Среди большого разнообразия требований, предъявляемых к современному стрелковому оружию, можно выделить безотказную работу образца вооружения, которая достигается обеспечением необходимой живучести деталей и механизмов оружия.

Живучесть оружия характеризуется продолжительностью нормальной работы ее деталей без поломок и изнашивание свыше допустимой границы [3, 4].

На живучесть оружия большое влияние оказывают условия его эксплуатации. Среди них особое значение имеет режим огня и условия сбережения и хранения оружия. С увеличением интенсивности стрельбы, определяемой режимом огня, живучесть оружия снижается вследствие более сильного нагрева и износа деталей. Наиболее сильное влияние режим огня оказывает на живучесть стволов, длительность службы которых резко снижается с увеличением темпа стрельбы и длины очереди. Отклонение от установленных норм сбережения и хранения оружия также снижает его живучесть. При этом особое значение имеет своевременность чистки и смазки оружия, уменьшающей износ деталей и предохраняющей их от коррозии.

Динамический характер усилий и напряжений, действующих во многих деталях автоматического оружия, затрудняет обеспечение их прочности и является одной из главных причин сравнительно низкой живучести. В силу этой и других причин живучесть деталей автоматического оружия не превышает нескольких десятков тысяч выстрелов. Особое значение имеет обеспечение достаточной живучести ствола, играющего решающую роль в общей живучести оружия. При этом живучесть оружия оценивается по степени долговечности, то есть по возможности объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. В оружии, как правило, долговечность оценивается ресурсом ствола, причем о наступлении предельного состояния судят по одному из косвенных признаков: падению начальной скорости снаряда на 5 % (иногда на 10 %); увеличению технического рассеивания пуль в 2,5 раза; попаданию 50 % пуль в мишень плашмя (потеря устойчивости).

Живучесть оружия измеряется количеством сделанных из оружия выстрелов до существенного изменения баллистических качеств оружия, которые определяются по ухудшению кучности боя, возникновению случаев срыва пуль с нарезов, приводящих к неправильному полету пули. При общей живучести стрелкового вооружения от 20 до 100 тыс. выстрелов живучесть стволов составляет всего от 4 до 25 тыс. выстрелов [5].

На процесс изнашивания поверхности канала ствола влияет большое количество факторов: конструктивных, технологических, баллистических, эксплуатационных. С ростом изнашивания ухудшаются баллистические качества ствола и, как следствие – наблюдается снижение начальной скорости пули, увеличивается рассеивание, которые приводят к увеличению количества боеприпасов, необходимых на вы-

полнение огневой задачи.

Продолжительность срока службы ствола зависит от многих причин: конструкции ствола, количества боеприпасов, сортов пороха и эксплуатационных условий.

Основной причиной износа канала ствола является истирание его внутренних поверхностей в результате:

- давления между выступами оболочки пули и полями нарезов, возникающего вследствие вращательного движения пули;
- трения при движении пули;
- усилия, возникающего при врезании полей нарезов в оболочку пули;
- эффекта разгара ствола.

Разгар канала ствола представляет собой сложный процесс, не изученный еще в полной мере [1, 6]. Специальные исследования и опыт эксплуатации разнообразных видов ствольного оружия показывают, что на разгар канала ствола оказывает влияние ряд факторов: калибр ствола и его баллистические показатели, конструкция и металл ствола, состояние порохового заряда. Повышение скорости пули и давления пороховых газов усиливают разгар. Для объяснения механизма разгара рядом исследователей предложено несколько гипотез [1, 6]:

- гипотеза термического действия пороховых газов. Данная гипотеза исходит из того, что разгар канала ствола обусловлен, главным образом, тепловым воздействием пороховых газов на металл ствола.
- гипотеза механического действия потока пороховых газов. В этой гипотезе признается, что решающим фактором разгара является механическое газодинамическое действие пороховых газов, причем существенное значение придается вихреобразному движению газов. Вихреобразованию способствует изменение сечения канала при переходе от камеры к нарезной части и наличие нарезов.
- гипотеза химического действия пороховых газов. В данной гипотезе признается, что решающим фактором разгара является изменение механических качеств металла за счет химического воздействия пороховых газов на металл.

При этом во всех гипотезах переменными величинами указываются давление пороховых газов и скорость горения порохового заряда, которые напрямую зависят от состояния порохового заряда.

По опыту хранения боеприпасов можно судить, что их чувствительность к внешним воздействиям со временем повышается, что связано с изменением свойств пороховых зарядов, которыми снаряжены боеприпасы. Несмотря на лакокрасочные покрытия поверхностей корпусов, соприкасающихся с зарядом, с течением времени могут происходить взаимодействие порохов с материалом корпуса боеприпасов и образование более чувствительных по сравнению с исходным зарядами соединений, что повышает опасность дальнейшего хранения боеприпасов.

Изменение физико-химических свойств пороховых зарядов в процессе хранения существенно влияет на показатели параметров внутренней баллистики при выстреле [8].

Вместе с тем теория длительного хранения боеприпасов до сих пор в достаточной степени не разработана. Не установлена количественная связь между химической стойкостью порохов и гарантийным сроком хранения боеприпасов. Поэтому на практике сроки хранения устанавливаются эмпирически по результатам контрольных испытаний, в процессе которых определяются сохранность боеприпасов и их боевые свойства [8].

Все пороха для нарезного оружия подразделяются на быстро, средне и медленно горящие. Последние позволяют поддерживать высокое давление газов в течение всего пути пули по каналу ствола, и тем самым придавать пуле более высокую начальную скорость. Однако именно медленно горящие пороха вызывают ускоренную термическую эрозию и сильнее всего изнашивают ствол. Для достижения максимального ресурса стволов среднего калибра следует обратить внимание на патроны, рабочее давление которых находится в пределах 3200–3600 кг/см².

Американские исследователи провели эксперименты с целью выяснить зависимость живучести ствола от типа применяемого патрона, а также от типа пороха, используемого в боеприпасе. Тенденция, выявленная в ходе исследований, однозначно свидетельствовала – чем медленнее горит порох, тем короче жизнь ствола.

В работе [7] на основе экспериментальных исследований скорости горения порохов боеприпасов различных сроков хранения сделан вывод – с увеличением срока хранения пороха увеличивается скорость его горения, максимальное давление пороховых газов, при чем начальная скорость падает.

Анализ данных вышеупомянутых исследований позволяет прогнозировать ухудшение живучести стволов стрелкового оружия при применении боеприпасов длительных сроков хранения. Для получения более точных данных необходимо проведение дальнейших исследований по изучению влияния сроков хранения порохов на живучесть стрелковых комплексов.

Предыдущими исследованиями [8, 9] были установлены основные этапы жизненного цикла бое-

припасов к стрелковому оружию на послегарантийных сроках хранения. При этом теоретически и экспериментально были определены количественные показатели некоторых внутрибаллистических характеристик:

- начальная скорость пули;
- масса порохового заряда;
- время достижения давления форсирования при выстреле;
- скорость горения порохового заряда;
- плотность пороха.

Используя данные эксперимента и учитывая, что на разных этапах эксплуатации боеприпасов изменяются вышеупомянутые характеристики, было определено изменение живучести ствола 7,62 мм пулемета Калашникова ПКМС при использовании боеприпасов разных сроков эксплуатации согласно выражения Габо-Слухоцкого [4]:

$$N = K \cdot \frac{(D_0^2 - d^2) \cdot (1 + \Delta_d) \cdot e^{-n_1 \cdot t_0}}{e^{2,8 \cdot n_1 p_0 + n_2 \cdot T} \cdot \omega \cdot V_0^2} \cdot \left[\Delta_d \cdot \left(\frac{V_1}{V_d} \right)^2 + \left(\frac{0,64}{1 + \chi_n \cdot \Delta_d} \cdot \frac{1}{V_0} \right)^2 \cdot 2 \cdot g \cdot \frac{1 + \Theta}{2 + \Theta} \cdot \frac{p_d}{\gamma_d} \right],$$

где N – количество выстрелов; K – коэффициент, который зависит от калибра, глубины и крутизны нарезов; D_0 (м) – калибр по нарезам; d (м) – калибр по полям; $\Delta_d = \frac{W_d}{W_0}$ – число объемов расширения газов в канале ствола; $W_d = S \cdot l_d$ (м³) – полный объем канала ствола; S (м²) – площадь сечения канала ствола; l_d (м) – полный путь пули; W_0 (м³) – объем зарядной каморры; ω (кг) – масса заряда; V_0 (м/с) – начальная скорость пули; $n_1 = k \cdot (1 - \lambda_1)$ – коэффициент [4]; k – коэффициент [4]; λ_1 – коэффициент [4]; $n_2 = k \cdot \lambda_1$ – коэффициент [4]; p_0 (кг/м²) – давление форсирования; T (°C) – температура горения пороха; t_0 (°C) – температура поверхностного слоя ствола к началу врезания пули в нарезы; $\frac{V_1}{V_d}$ – коэффициент из таблицы

[4]; $\chi_n = \frac{1}{\frac{1}{\chi} + 0,75 \cdot \frac{d}{l_0}}$ – коэффициент [4]; χ – коэффициент расширения; l_0 (м) – приведенная длина ка-

морры; g (м/с²) – ускорение свободного падения; Θ – характеристика; p_d (кг/м²) – дульное давление; $\gamma_d = \frac{\Delta}{(1 + \Delta_d) \cdot 1000}$ (кг/м³) – коэффициент; Δ (кг/м³) – плотность заряжания.

Как видно, в выражение входят достаточное количество характеристик, зависящих от сроков эксплуатации боеприпасов.

Однако выражение Габо-Слухоцкого может применяться только для относительного анализа состояния и прогнозирования живучести стволов стрелкового оружия.

Таким образом, при эксплуатации стрелкового оружия необходимо учитывать сроки эксплуатации боеприпасов и, согласно этому, определить дополнительные мероприятия по контролю состояния каналов стволов, которые бы позволили обоснованно вводить поправки и проводить корректирование прицельных приспособлений по дальности при стрельбе во избежание перерасхода боеприпасов при выполнении огневых задач.

На основании данных исследований могут быть решены следующие задачи:

- теоретически – усовершенствована модель эксплуатации стволов стрелкового оружия при применении боеприпасов послегарантийных сроков хранения;
- экспериментально – определение фактических показателей и разработка технических решений по методам контроля за состоянием стволов, на основании чего могут быть разработаны технические рекомендации по применению боеприпасов на послегарантийных сроках хранения и принципиальные решения о сроках их применения.

В совокупности синтез полученных решений позволяет решить принципиальный вопрос о целе-

сообразности применения боеприпасов длительных сроков хранения с точки зрения экономических затрат, связанных со снижением ресурса ствола.

Литература

1. Благодравов А.А. Материальная часть стрелкового оружия / Благодравов А.А. – М.: Оборонгиз, 1945. – 572 с.
2. Орлов Б.В. Проектирование ракетных и ствольных систем / Орлов Б.В. – М.: Машиностроение, 1974. – 393 с.
3. Орлов Б.В. Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий / Орлов Б.В., Ларман Э.К., Маликов В.Г. – М.: Машиностроение, 1976. – 431 с.
4. Чуев Ю.В. Проектирование ствольных комплексов / Чуев Ю.В. – М.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
5. Благодравов А.А. Основания проектирования автоматического оружия / Благодравов А.А. – М.: Оборонгиз, 1940. – 487 с.
6. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика / Серебряков М.Е. – М.: Оборонгиз, 1949. – 670 с.
7. Рекомендації щодо аналізу стану та бойового і навчально-бойового використання боеприпасів, 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. Інв. № 20.
8. Аніпко О.Б. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения [Текст] / О.Б. Аніпко, Ю.М. Бусьяк, Д.С. Баулін, І.Ю. Бірюков. – Х.: Акад. внутрішніх військ МВС України. – 2010. – 129 с.
9. Особливості характеристик внутрішньої балістики порохових зарядів боеприпасів, 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.

Bibliography (transliterated)

1. Blagonravov A.A. Material'naja chast' strelkovogo oruzhija Blagonravov A.A. – M.: Oborongiz, 1945. – 572 p.
2. Orlov B.V. Proektirovanie raketnyh i stvol'nyh sistem Orlov B.V. – M.: Mashinostroenie, 1974. – 393 s.
3. Orlov B.V. Ustrojstvo i proektirovanie stvolov artillerijskih orudij Orlov B.V., Larman Je.K., Malikov V.G. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 431 p.
4. Chuev Ju.V. Proektirovanie stvol'nyh kompleksov Chuev Ju.V. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 216 p.
5. Blagonravov A.A. Osnovaniya proektirovanija avtomaticheskogo oruzhija Blagonravov A.A. – M.: Oborongiz, 1940. – 487 p.
6. Serebrjakov M.E. Vnutrennjaja ballistika Serebrjakov M.E. – M.: Oborongiz, 1949. – 670 p.
7. Rekomendacii shhodo analizu stanu ta bojovogo i navchal'no-bojovogo vikoristannja boeprapasiv, strok ekspluatacii jakih zakinchivsja (bil'sh 15 rokiv) do strilec'koї zbroї ta artilerijs'kogo ozbroennja [Tekst] : zvit pro NDR Akad. vnutrishnih vijs'k MVS Ukraїni; kerivn. O.B. Anipko; vikon. : D.S. Baulin [ta in.]. – H., 2007. – 91 p. Inv. # 20.
8. Anipko O.B. Vnutrennjaja ballistika stvol'nyh sistem pri primenenii boeprapasov dlitel'nyh srokov hranenija [Tekst] O.B. Anipko, Ju.M. Busjak, D.S. Baulin, I.Ju. Birjukov. – H.: Akad. vnutrishnih vijs'k MVS Ukraїni. – 2010. – 129 p.
9. Osoblivosti harakteristik vnutrishn'oї balistiki porohovih zarjadiv boeprapasiv, 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 Ukraїni. 2008. – 40 p.

УДК 623.522

Аніпко О.Б., Муленко О.О., Баулін Д.С., Черкашин О.Д.

**ПРОБЛЕМА ЖИВУЧОСТІ СТВОЛІВ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ ПРИ ВИКОРИСТАННІ
БОЄПРИПАСІВ ПІСЛЯ ГАРАНТІЙНИХ СТРОКІВ ЗБЕРІГАННЯ**

У статті розкриваються основні причини, що впливають на живучість ствольних систем. На підставі теоретичних і експериментальних досліджень визначені подальші напрямки експлуатації стрілецької зброї при застосуванні боєприпасів після гарантійних строків зберігання.

Anipko O.B., Mulyenko A.O., Baulin D.S., Cherkashyn A.D.

**PROBLEM OF SURVIVABILITY OF BARRELS SMALL ARMS IN A CASE USE OF AMMUNITION
AFTER A GUARANTEE PERIODS OF STORAGE**

In the article dominant causes which influence for survivability barrels systems are considered. On the basis of theoretical and experimental researches the further directions of operation small arms in a case use of ammunition after a guarantee periods of storage are determine.

Анипко О.Б., Баулин Д.С., Воробьев В.И., Бусяк Ю.М.

**ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫЕ КОЛЕСНЫЕ МАШИНЫ
ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ВОЙСК МВД УКРАИНЫ**

В настоящее время на вооружении Внутренних войск МВД Украины находятся бронетранспортеры БТР-70 и БТР-80, с момента разработки которых прошло уже более 30–40 лет. Следует подчеркнуть, что эти машины, особенно БТР-80 с дизельным двигателем, достаточно хорошо зарекомендовали себя во время эксплуатации в войсках и при использовании их в боевых операциях и операциях по поддержанию мира.

До конца 1980-х годов создавались и производились две специализированные группы боевых бронированных машин (ББМ):

- БТР для транспортировки десанта и выполнения задач в тыловой зоне и во второй линии;
- БМП для ведения боя совместно с танками.

БТР вооружались 7,62 и 12,7 мм пулеметами; БМП – автоматическими пушками.

Первой послевоенной ББМ с колесной формулой 8×8 стал 35 лет назад БТР “Panahard M2”, Франция.

В 1990–1996 гг. во Франции, Германии, Великобритании, Италии, Нидерландах, Финляндии, Швейцарии и нескольких позднее (2001 г.) в Австрии начали усиленно разрабатывать колесные БМ 8×8.

В середине 90-х годов наметилась тенденция использования легких ББМ вместо танков (миротворческие операции в Боснии и Сомали). В этих операциях против ББМ применялись 14,5 мм пулеметы, поэтому требования к баллистической защите ББМ резко возросли (более чем в 3 раза) и стали соответствовать четвертому уровню стандарта НАТО STANAG 4569.

В 1999 г. демонстрацией оперативной мобильности был стремительный переход российского подразделения на БТР-80 и взятие под контроль аэропорта “Приштина” в Косово (Югославия). У американцев на тот момент подобных ББМ 8×8 не было, и этот эпизод подтолкнул США к закупке более 2000 БМ “Stryker” для собственных вооруженных сил. Следует согласиться, что в тактической мобильности гусеничные БМ имеют неоспоримое преимущество, в оперативной – колесные.

В настоящее время особое внимание уделяется таким характеристикам: внутреннему, бронированному объему, грузоподъемности, уровню баллистической и противоминной защиты, стратегической и оперативной мобильности.

Ранее на каждого десантника приходилось 0,6–0,7 м³, теперь не менее 1,2 м³.

Современные бронетранспортеры колесной формулой 8×8 имеют массу от 16 до 32 тонн.

Ранее колесные БТР как правило характеризовались низким уровнем баллистической и противоминной защиты. Однако в связи с тем, что в вооруженных столкновениях стали широко применяться бронебойные патроны калибра 12,7 и 14,5 мм; бронебойные снаряды, в том числе APFSDS калибра 20–40 мм; противотанковые мины; ручные противотанковые гранатометы; самодельные взрывные устройства (IED), рынок потребовал ББМ с более высоким уровнем защиты, чем с защитой от стрелкового вооружения калибра 5,56/7,62 мм.

С 2003 года серьезную угрозу стали представлять самодельные взрывные устройства IED класса EFP (формируемый взрывом снаряд (ударное ядро), который с 8 метров пробивает 40 мм стальной брони).

В последнее время амфибийные свойства колесных машин отошли на второй план, так как реализовывать плавучесть БТР массой 25 тонн стало проблематично.

Одновременно особый акцент делается на стратегическую и оперативную мобильность, а, следовательно, масса машины ограничивается характеристикой грузоподъемности военно-транспортной авиации (С-130, А-400, Ил-76).

Между тем, масса и габариты за последние 10 лет постоянно росли. Это хорошо видно на примере эволюции семейства ББМ “Piranha” [1].

На современном этапе прослеживаются следующие тенденции развития колесных ББМ:

- резкое повышение основных показателей тактико-технических характеристик (ТТХ), при этом приоритет отдан быстроходности в ущерб проходимости;
- рост огневой мощи на основе перехода от крупнокалиберных пулеметов (12,7 мм; 14,5 мм) к

- малокалиберным автоматическим пушкам (30 мм и более);
 - модульный принцип, позволяющий на основе базовых разработок создавать модельный ряд машин широкого спектра назначения и разнообразного вооружения;
 - планирование доминирующей роли в миротворческих операциях и конфликтах низкой интенсивности до 2040 года;
 - повышение защищенности на основе съёмной модульной защиты и повышение противоминной защиты;
 - снижение заметности;
 - повышение экономичности двигателя.

Таким образом видно, что состоящие на вооружении ВВ МВД Украины легкие бронированные машины (ЛБМ) не в полной мере отвечают современным требованиям, что в условиях использования ВВ в миротворческих операциях обусловило актуальность научно-исследовательской работы по определению современных требований к ТТХ ЛБМ для выполнения служебно-боевых задач внутренними войсками.

Эта работа проводилась совместно научно-исследовательским центром Академии ВВ МВД Украины и КП ХКБМ им. А.А. Морозова.

Определение показателей ТТХ осуществлялось путем экспертного опроса [2] специалистов, отобранных по предварительному анкетированию из частей ВВ МВД Украины (командиры воинских частей, начальники штабов, заместители командиров по вооружению и технике).

Для проведения экспертизы был разработан перечень показателей ТТХ в соответствие с методикой [3]. Анкеты были разосланы в 29 воинских частей. Получено отработанных анкет – 23. Из них признано неквалифицированными по признаку 25 % и более некорректных показателей 6 анкет. Таким образом, к обобщению результатов опроса допущено 17 анкет.

Обработка результатов проводилась по известной и хорошо апробированной методике [2, 3]. Следует подчеркнуть, что в процессе обработки результатов выявилась специфика войсковых частей, в результате чего было признано целесообразным на первом этапе обработки результатов опроса разделить их на 4 группы, в соответствии со спецификой взглядов экспертов. Эти результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Показатели ТТХ ЛБМ

Показатели	Специальные моторизованные воинские части милиции	Воинские части по конвоированию, экстрадиции и охране подсудимых	Воинские части по охране особо важных объектов	Воинские части по охране АЭС
Масса, кг	13600	10000	3000	6500
Высота, м	2,4	1,5	2,6	2,7
Ширина, м	3	2	2,3	2,7
Длина, м	7,7	5	6,5	7
Клиренс, мм	500	700	450	450
Мощность, л.с.	380	350	200	250
Экипаж, чел.	2	1	1–2	2
Десант, чел.	8	10	8	6
Пушка, мм	30	23	–	23
Пулемет, мм	7,62–14,5	7,62	12,7	7,62
Гранатомет	–	АГС-17	–	АГС-17 (50%)
Бронирование лоб-борт, мм	20–10	–	20–10	20–15 (от РПГ)
Макс. скорость, км/час	90	95	115	120
Автономность, суток	2	2	7	3
Запас хода по шоссе, км	700	500	650	580
Запас хода по грунту, км	400	400	400	360
Одна машина или модельный ряд	Одна	MP	MP	Одна
Необходимость в тренажерах	Необходимо	Необходимо	Необходимо	Необходимо

Кроме этого экспертами были выявлены следующие специфические требования, которые не были учтены в анкете:

- разработка специального курса на тренажерах с учетом специфики служебно-боевой деятельности;
- оснащение мощной прожекторной установкой и приборами ночного видения;
- оборудование лебедкой;
- оборудование системой кондиционирования;
- установка автомобильного средства связи типа “Кенвуд ТК-7020 вариант 6”;
- выход десанта через корму;
- буксируемая масса не меньше 3 тонн;
- оборудование навигационной системой;
- оборудование камерой видеонаблюдения с фиксацией сюжетов;
- оборудование сиреной, громкоговорителем, проблесковым маячком;
- разворот на месте;
- возможность преодолевать сложные препятствия с углом въезда 50° и креном 30° ;
- противоминная защита днища (V-образная форма);
- оборудование бортовым информационно-управляющим комплексом, хотя бы тактического звена;
- разработка на основе базовой машины, машины технического обслуживания и ремонта с краном-стрелой до 3 тонн;
- оборудование для разграбления (бульдозер);
- оборудование места для служебной собаки;
- оборудование прибором радиационной и химической разведки.

Анализ полученных результатов показал, что для удовлетворения современных требований к показателям ТТХ и с учетом специфических требований, обусловленных служебно-боевыми задачами ВВ МВД Украины необходимо две базовые машины категориями по массе:

- одна – 3–7 тонн;
- вторая – 13–16 тонн.

На основе этих машин реализуется модельный ряд, позволяющий удовлетворить требования и условия выполнения СБЗ.

При этом выявилась полная необеспеченность воинских частей, а потому и и насущная потребность в тренажерах как для состоящих на вооружении, так и для перспективных машин. Следует подчеркнуть, что, не смотря на подготовку офицеров-автомобилистов, Академия ВВ МВД Украины не располагает динамическими тренажерами экипажей ЛБМ, состоящих на вооружении внутренних войск.

Последующий анализ обобщенных в целом показателей ТТХ для двух выявленных типов машин показал, что они близки к показателям ТТХ бронетранспортеров БТР-4 и “Дозор-Б”, разработки КП ХКБМ им. А.А. Морозова [4] (табл. 2), на которые могут устанавливаться модули вооружения БАУ-23, “Гром”, “Штурм”.

Таблица 2 – Показатели ТТХ машин КП ХКБМ им. А.А. Морозова

Показатели	БТР-4	“Дозор-Б”
Масса, кг	18000	7000
Высота, мм	2930	2700
Ширина, мм	2900	2400
Длина, мм	7650	5680
Мощность двигателя, л.с.	500	191
Экипаж, чел.	3	3
Десант, чел.	8	8
Вооружение	Боевые модули БАУ-23, “Гром”, “Штурм”	12,7 мм пулемет
Макс. скорость по шоссе, км/час	110	120
Макс. скорость на плаву, км/час	до 10	–
Запас хода, км	700	790

Полученные результаты являются базой для проведения дальнейших научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по формированию облика и тактико-технических требований к ЛБМ для выполнения служебно-боевых задач ВВ МВД Украины.

Литература

1. Бусяк Ю.М. / Ю.М. Бусяк, О.Б. Анипко // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2010. – №1. – С. 23–27.
2. Бешелев С.Д. Экспертные оценки / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Наука, 1973. – 160 с.
3. Анипко О.Б. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники / Анипко О.Б., Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М. – Х.: Изд-во НТУ “ХПИ”, 2008. – 188 с.
4. Харьковское конструкторское бюро по машиностроению имени А.А. Морозова / [Веретенников А.И., Рассказов И.И., Сидоров К.В., Решетило Е.И.]. Х.: КП ХКБМ им. А.А. Морозова, 2007. – 188 с.

Bibliography (transliterated)

1. Busjak Ju.M. Ju.M. Busjak, O.B. Anipko Artillerijskoe i strelkovoje vooruzhenie. – 2010. – #1. – p. 23–27.
2. Beshelev S.D. Jekspertnye ocenki S.D. Beshelev, F.G. Gurvich. – M.: Nauka, 1973. – 160 p.
3. Anipko O.B. Konceptual'noe proektirovanie ob"ektov bronetankovoj tehniky Anipko O.B., Borisjuk M.D., Busjak Ju.M. – H.: Izd-vo NTU “HPI”, 2008. – 188 p.
4. Har'kovskoe konstruktorskoe bjuro po mashinostroeniju imeni A.A. Morozova [Veretennikov A.I., Rasskazov I.I., Sidorov K.V., Reshetilo E.I.]. H.: KP HKBM im. A.A. Morozova, 2007. – 188 p.

УДК 623.4.016

Аніпко О.Б., Баулін Д.С., Вороб'єв В.І., Бусяк Ю.М.

ЛЕГКОБРОНЬОВАНІ КОЛІСНІ МАШИНИ ДЛЯ ВНУТРІШНІХ ВІЙСЬК МВС УКРАЇНИ

Проведено аналіз сучасного стану парку легкоброньованих колісних машин, що використовуються внутрішніми військами МВС України. У роботі отримано результати, що можуть бути базою для проведення подальших науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт з формування вигляду і тактико-технічних вимог до ЛБМ для виконання службово-бойових задач ВВ МВС України.

Anipko O.B., Baulin D.S., Vorob'ev V.I., Busyak Yu.M.

WHEEL CARS FOR INTERNAL TROOPS OF THE MINISTRY OF ARMED FORCES OF UKRAINE

The analysis of a current state of park wheel cars which are used by internal troops of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine is carried out. In work results which can base for carrying out of the further research and developmental works on formation of shape and technical requirements for performance fighting for-summer residences the Ministry of Internal Affairs of Ukraine are received.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ СРАБАТЫВАНИЯ СПИРАЛЬНОГО ВЗРЫВОМАГНИТНОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ВЗРЫВНОМ СЖАТИИ КОНТУРА С ТОКОМ

Введение. В настоящее время в качестве источников питания современных радиоэлектронных систем всё большее применение получили взрывомагнитные генераторы (ВМГ). Наряду с этим существует возможность использования ВМГ как самостоятельного генератора широкополосного излучения. По сравнению с существующими образцами (генераторы СВЧ излучения, источники сильноточных пучков электронов) ВМГ обладает более высокой частотной избирательностью и низкими массогабаритными показателями.

Применение взрывомагнитного генератора в качестве источника мощных электромагнитных излучений (МЭМИ) неразрывно связано с возможностью преобразования энергии в замкнутом контуре. При этом длительность генерируемого импульса зависит от скорости срабатывания ВМГ [1]. Таким образом, целью данной работы является исследование влияния основных параметров спирального ВМГ на скорость его срабатывания и, следовательно, длительность импульса МЭМИ.

Основной материал. Для анализа зависимости длительности импульса, генерируемого ВМГ, от скорости его срабатывания рассмотрим физические процессы, происходящие при взрывном сжатии контура с током (см. рис. 1).

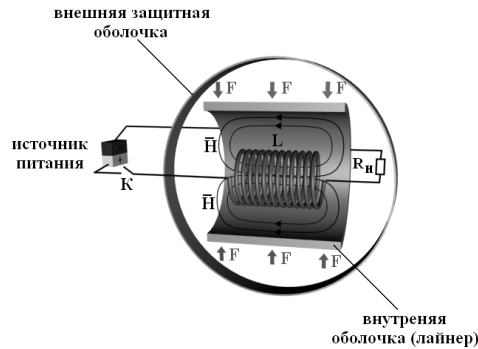


Рисунок 1 – Схема преобразования энергии в ВМГ

Данная структура имеет в своем составе некоторую замкнутую область V , ограниченную прочной защитной оболочкой, в которую помещен соленоид L . Кроме индуктивности, данная структура содержит и активное сопротивление нагрузки R_n . При замкнутом ключе K соленоид L через внутреннюю оболочку (лайнер) подключается к источнику постоянного тока с ЭДС ϵ_0 (см. рисунок 1). В результате в соленоиде начинает циркулировать постоянный ток I .

Однако постоянный ток, протекающий в данной цепи, не сразу достигнет предельного значения, а будет нарастать постепенно:

$$i(t) = \frac{\epsilon_0}{R_n} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \tag{1}$$

где $\tau = \frac{L}{R_n}$ – время установления тока.

Переходный процесс будет продолжаться на интервале времени $0 < t \leq \tau$, определяемом значениями индуктивности и активного сопротивления нагрузки. При $i(\tau) \approx I$ ток в контуре достигнет предельного значения. После окончания переходного процесса в данном контуре будет протекать постоянный ток I , который при неизменном объеме V не будет вызывать электромагнитные излучения. Поэтому на интервале времени $\tau < t \leq t_{cl}$ всю запасенную в объеме энергию содержит магнитное поле [1]:

$$W = \frac{1}{2} I \int_S \mu H ds = \frac{1}{2} I \Phi. \tag{2}$$

Учитывая, что ток I и объем внутренней области V – постоянные, выражение (2) можно записать на временном интервале $\tau < t \leq t_{c1}$ в более простом виде:

$$W = \frac{1}{2} L(I)^2 \lambda, \quad (3)$$

где λ – коэффициент сохранения потока.

При подрыве взрывчатого вещества (ВВ) (см. рисунок 1) на поверхность внутренней оболочки, обладающей ограниченной прочностью, будет действовать сила F . Под действием этой силы внутренний контур сжимается, увеличивая напряженность магнитного поля, что приводит к увеличению тока в катушке до величины I_{c2} . Процесс взрывного воздействия на данную структуру будет лежать во временном интервале $t_{c1} < t \leq t_{c2}$.

Закон изменения тока при сжатии цилиндрического лайнера под воздействием подрыва ВВ имеет вид:

$$i(t) = \frac{I\lambda}{\sqrt{1 - \frac{1}{8} \frac{m}{M} \left(\frac{Dt}{R_o} \right)^2}}. \quad (4)$$

Энергию на данном промежутке времени $t_{c1} < t \leq t_{c2}$ можно определить следующим образом:

$$W = \frac{I^2 \lambda^2}{\frac{R_H D}{2R_o} \sqrt{\frac{m}{M}}} \times \ln \left(\frac{\frac{D}{4R_o} \sqrt{\frac{m}{M}} (t_{c2} - t_{c1}) + \left(1 - \frac{1}{8} \frac{m t_{c2} t_{c1}}{M} \left(\frac{D}{R_o} \right)^2 \right)}{\frac{D}{4R_o} \sqrt{\frac{m}{M}} (t_{c1} - t_{c2}) + \left(1 - \frac{1}{8} \frac{m t_{c2} t_{c1}}{M} \left(\frac{D}{R_o} \right)^2 \right)} \right). \quad (5)$$

На рисунке 2 представлена графическая зависимость изменения энергии, передаваемой на нагрузку, от значений времени t_{c2} . Данная зависимость построена с учетом, что на интервале времени $\tau < t \leq t_{c1}$ в выбранной структуре закончился переходный процесс, и накоплена первоначальная энергия. Максимальные значения энергии на нагрузке возможны при длительности интервала $t_{c1} < t \leq t_{c2}$ более $30 \cdot 10^{-6}$ с, что определяется механическими свойствами металлического лайнера.

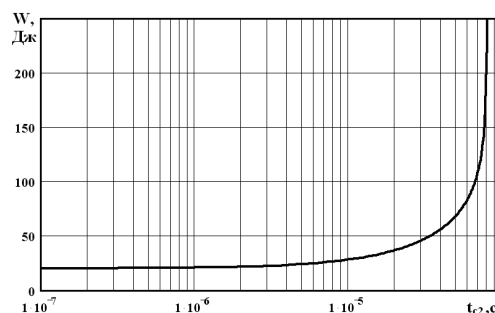


Рисунок 2 – Зависимость значений энергии, передаваемой на нагрузку, при сжатии лайнера от времени начала образования нестабильностей на внутренней поверхности

Анализ результатов исследований, проведенных в работах [2–4], показал, что при деформации лайнера представляет интерес только та стадия сжатия, на которой не образуются нестабильности и внутренняя поверхность остается цилиндрической формы. Данные нестабильности образуются и развиваются из-за разницы в плотности сжимаемого металлического лайнера и среды (воздуха), где происходит деформация.

В работах [2–4] показано, что максимальное сжатие металлического лайнера без образования нестабильностей возможно лишь до диаметра, в 1,5 меньшего первоначального значения.

Длительность импульса, который формируется данным генератором, будет зависеть от скорости сжатия цилиндрического лайнера на интервале времени $t_{c1} < t \leq t_{c2}$. Для достижения максимального эффекта воздействия на радиоэлектронную аппаратуру длительность МЭМИ должна быть как можно меньше, несмотря на уменьшение энергии передаваемой на нагрузку. Поэтому ниже рассмотрим возможность достижения максимальной скорости сжатия лайнера при подрыве ВВ.

Сжатие цилиндрической оболочки лайнера происходит за счет энергии, выделяющейся при детонации ВВ. Очевидно, что для работы ВМГ масса ВВ незначительна, по сравнению как с массой лайнера, так и внешней защитной оболочки [2–4]. Таким образом, при исследовании скорости сжатия лайнера можно в первом приближении пользоваться гипотезой мгновенной детонации [3, 4]. В этом случае максимальную скорость сжатия оболочки одинаковой толщины для заряда цилиндрической формы можно определить из следующей зависимости [3]:

$$W_c + W_k + W_{\Pi} + W_{\Phi} + \frac{Mu^2}{2} = mQ, \quad (6)$$

где u – максимальная скорость сжатия цилиндрической оболочки лайнера, M – масса лайнера, m – масса ВВ, Q – теплота взрывчатого разложения на единицу массы ВВ, W_c – максимальная энергия, которая передается среде (воздуху), окружающей лайнер, W_k – максимальная кинетическая энергия продуктов детонации (ПД), W_{Π} – максимальная внутренняя потенциальная энергия ПД, W_{Φ} – максимальная энергия формоизменения (затрачивается на сжатие лайнера и его последующее разрушение).

Для определения максимальной скорости сжатия лайнера найдем энергии W_c , W_k , W_{Π} , W_{Φ} .

Максимальное значение энергии W_c , передаваемой в ударную волну, распространяющейся в окружающей лайнер среде, может быть определено, основываясь на результатах исследований, проведенных в работах [3, 4]. В этом случае с учетом цилиндрической формы лайнера выражение для W_c можно записать следующим образом:

$$W_c = \pi R_0^2 l p \left(\left(\frac{R_{c2}}{R_0} \right)^2 - 1 \right), \quad (7)$$

где R_{c2} – внутренний радиус лайнера, соответствующий его полному разгону перед появлением неустойчивостей и разрывом, R_0 – внутренний радиус цилиндрического лайнера до детонации ВВ, l – длина лайнера (высота цилиндра), p – давление на лайнер со стороны среды, где размещен соленоид (см. рисунок 1).

Для выбранной структуры ВМГ и с учетом незначительного изменения внутреннего радиуса лайнера до возникновения неустойчивостей будем считать, что $p = \text{const}$.

Кинетическую энергию ПД W_k можно определить, основываясь на [3, 4] при известной зависимости скорости $v_{\text{пд}}$ и плотности ПД от координаты. Тогда, учитывая, что в выбранной структуре и ВВ, и лайнер имеют цилиндрическую форму, зависимость для кинетической энергии можно записать в следующем виде:

$$W_k = \frac{mv_{\text{пд}}^2}{\psi}, \quad (8)$$

где для цилиндрической структуры $\psi = 2n + 2$; n – числовой показатель.

Из выражения (8) следует, что можно рассматривать энергию W_k как кинетическую энергию определенной массы ПД m_1 , движущейся с постоянной скоростью $v_{\text{пд}}$. Следовательно, для $n = 1$ [3] выражение (8) можно переписать следующим образом:

$$W_k = \frac{m_1 v_{\text{пд}}^2}{2}. \quad (9)$$

Согласно [3], для цилиндрической формы $m_1 = m/2$.

Максимальную величину внутренней энергии ПД можно определить, учитывая [3, 4], следующим образом:

$$W_{\Pi} = me_{\Pi} = m \int_{v_0}^{v_c} p dv, \quad (10)$$

где e_{Π} – внутренняя (потенциальная) энергия единицы массы ПД, v_0 – удельный объем, который занимают ПД до подрыва, v_c – удельный объем, который занимают ПД к моменту максимального сжатия металлического лайнера без образования неустойчивостей.

При изменении удельного объема от $v(t_{c1}) = v_0$ до $v(t_{c2}) = v_c$, если приближенно принять $p = Av^{-k}$ [3], причем $k = \text{const}$, максимальную величину внутренней энергии ПД можно записать, учитывая (10), следующим образом:

$$W_{\Pi} = m \int_{v_0}^{v_c} Av^{-k} dv = \frac{mA}{(k-1)} \left[\frac{1}{v_0^{k-1}} - \frac{1}{v_c^{k-1}} \right], \quad (11)$$

где параметр $A = \frac{c^2}{k\rho_0^{(k-1)}}$ [3], c – скорость звука, ρ_0 – удельная плотность ВВ.

Параметр k и значения удельной плотности для некоторых ВВ представлены в [3, 4].

Для максимальной энергии формоизменения лайнера, основываясь на [4], можно записать следующую зависимость:

$$W_{\Phi} = \frac{M}{\rho_M} \int_0^{\epsilon_p} \sigma_i d\epsilon_i = \frac{M}{\rho_M} A_p, \quad (12)$$

где $M/\rho_M = V_M$ – объем лайнера, M – масса лайнера, ρ_M – плотность материала лайнера, A_p – энергия разрушения единицы объема материала лайнера, σ_i и ϵ_i – интенсивность напряжений и интенсивность деформаций соответственно, ϵ_p – интенсивность деформаций, соответствующая образованию неустойчивостей и последующего разрушению материала лайнера.

Таким образом, перепишем выражение (6) с учетом (7), (9), (11) и (12) в следующем виде:

$$\pi R_0^2 \rho \left(\left(\frac{R_{c2}}{R_0} \right)^2 - 1 \right) + \frac{mv_{\text{пд}}^2}{4} + \frac{mA}{(k-1)} \left[\frac{1}{v_0^{k-1}} - \frac{1}{v_c^{k-1}} \right] + \frac{M}{\rho_M} A_p + \frac{Mu^2}{2} = mQ. \quad (13)$$

Тогда для максимального значения скорости сжатия лайнера

$$u = \sqrt{2 \frac{m}{M} Q - \frac{2\pi R_0^2 \rho}{M} \left(\left(\frac{R_{c2}}{R_0} \right)^2 - 1 \right) - \frac{mv_{\text{пд}}^2}{2M} - \frac{2mA}{M(k-1)} \left[\frac{1}{v_0^{k-1}} - \frac{1}{v_c^{k-1}} \right] - \frac{2}{\rho_M} A_p}. \quad (14)$$

Учитывая, что слагаемое $\frac{2\pi R_0^2 \rho}{M} \left(\left(\frac{R_{c2}}{R_0} \right)^2 - 1 \right)$ будет намного меньше всех остальных и заменяя $\frac{m}{M} = \beta$,

перепишем (14) в следующем виде:

$$u = \sqrt{2\beta Q - \frac{v_{пл}^2}{4} - \frac{A}{(k-1)} \left[\frac{1}{v_o^{k-1}} - \frac{1}{v_c^{k-1}} \right] - \frac{v_o^*}{m} A_p}, \quad (15)$$

где v_o^* – об'єм лайнера.

Зависимость скорости изменения оболочки лайнеров с различной массой от массы взрывчатого вещества представлена на рисунке 3.

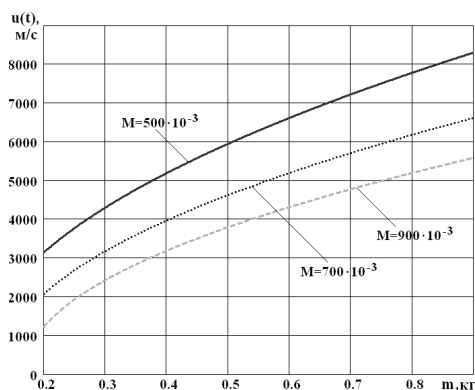


Рисунок 3 – Зависимость скорости формоизменения лайнера с массой M от массы взрывчатого вещества

Таким образом, скорость формоизменения лайнера в зависимости от массы ВВ обеспечит срабатывание ВМГ в микросекундном диапазоне (см. рисунок 3).

Выводы. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что длительность генерируемого МЭМИ зависит от скорости сжатия металлического лайнера ВМГ. Величина данной скорости, в основном зависящая от физико-химических характеристик лайнера и ВВ, для наилучших условий будет лежать в микросекундном диапазоне.

Литература

1. Тараненко С.В. Преобразования энергии импульсном взрывом магнитном генераторе / С.В. Тараненко // Интегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – № 2. – С. 104–108.
2. Прищепенко А.Б. Взрывы и волны. Взрывные источники электромагнитного излучения радиочастотного диапазона / А.Б. Прищепенко. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 208 с.
3. Физика взрыва [под ред. Л.П. Орленко]. – М.: ФИЗМАТЛИТ. – Т. 2. – 2004. – 644 с.
4. Одинцов В.А. Расширение и разрушение оболочек под действием продуктов детонации / В.А. Одинцов, Л.А. Чудов; под ред. Г.С. Шапиро. – М.: Мир, 1975. – 132 с.

Bibliography (transliterated)

1. Taranenko S.V. Preobrazovaniya jenerгии impul'snom vzryvomagnitnom generatore S.V. Taranenko Integrovani tehnologii ta energozberezhenija. – Harkiv: NTU «NPI», 2009. – # 2. – p. 104–108.
2. Prishhepenko A.B. Vzryvy i volny. Vzryvnye istochniki jelektromagnitnogo izluchenija ra-diochastotnogo diapazona A.B. Prishhepenko. – M.: BINOM. Laboratorija znaniy, 2008. – 208 p.
3. Fizika vzryva [pod red. L.P. Orlenko]. – M.: FIZMATLIT. – T. 2. – 2004. – 644 p.
4. Odincov V.A. Rasshirenie i razrushenie obolochek pod dejstviem produktov detonacii V.A. Odincov, L.A. Chudov; pod red. G.S. Shapiro. – M.: Mir, 1975. – 132 p.

УДК 621.396.6

Кучер Д.Б., Зонтова Т.В., Тараненко С.В., Литвиненко Л.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ СПРАЦЬОВУВАННЯ СПІРАЛЬНОГО ВИБУХОМАГНІТНОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ВИБУХОВОМУ СТИСКУВАННІ КОНТУРА ІЗ СТРУМОМ

У роботі представлені результати досліджень залежності тривалості імпульсу, що генерується спіральним ВМГ при вибуховому стискуванні контуру із струмом, від швидкості його спрацьовування.

Kucher D.B., Zontova T.V., Taranenko S.V., Litvinenko L.V.

**RESEARCH OF HIGH SPEED OF WEARING-OUT OF SPIRAL EXPLOSIVE
MAGNETIC GENERATOR AT EXPLOSIVE COMPRESSION OF CONTOUR WITH CURRENT**

In work the results of researches of dependence of pulse width, generated spiral EMG at the explosive compression of contour with a current from speed of his starting are presented.

ТАНКИ КАК ОБЪЕКТ ЗАЩИТЫ ОТ СРЕДСТВ РАЗВЕДКИ И СИСТЕМ НАВЕДЕНИЯ ОРУЖИЯ

Актуальность проблемы. Главным достоинством современных танков, созданных в соответствии с существующей концепцией, которая на сегодняшний день остается неизменной, является возможность достижения в ближайшем будущем оптимального сочетания огневой мощи, защищенности и подвижности, что дает дополнительный резерв для повышения боевой и военно-экономической эффективности.

Учитывая тактику применения танков, следует иметь в виду, что в любом случае повышение их защищенности является наиболее важной, сложной и трудноразрешимой проблемой. Для того чтобы танки, идущие в наступление, могли осуществлять прорыв прочной обороны противника, а также проводить операции на большую глубину в высоком темпе, необходимо, чтобы их потери на всех стадиях развертывания сил не превышали предел, за которым уже невозможны успешные боевые действия.

Борьба с танками начинается с их обнаружения на максимально возможном расстоянии и заканчивается попыткой уничтожения из всех возможных противотанковых средств, использующих системы наведения в широком диапазоне спектра – от видимого до радиолокационного. Таким образом, решение задачи защиты от средств разведки и систем наведения оружия является основополагающим для повышения защищенности танка.

Анализ последних достижений и публикаций. Проблема повышения защищенности, учитывая её актуальность [1–3], освещена достаточно широко. Во многих публикациях оценивается обеспечение комплексной защиты танков с методологических позиций, рассматриваются вопросы комплексной защиты основных боевых танков разных стран мира. Приводятся сведения о системах комплексной защиты серийных и перспективных образцов [4]. Наряду с этим, оценивается состояние и тенденции развития как традиционных, так и новых систем защиты [5], а также направления обеспечения живучести танка, основные принципы построения ее составляющих, возможные способы реализации и оценки эффективности. Рассматриваются различные подходы к решению проблем по повышению эффективности комплексной защиты [6, 7].

В тоже время, комплексная защита рассматривается в широком понимании, охватывает защиту и от обычных противотанковых средств, и от боеприпасов с самонаведением и самоприцеливанием, и от оружия массового поражения (ОМП). При этом основной упор все более переносится на решение задач снижения вероятности попадания в танк и пробития броневой защиты, в т.ч. с применением динамической, активной и др. видов защиты, уменьшения последствий при пробитии и применении ОМП.

С другой стороны, достаточно глубоко рассмотрены отдельные направления защиты танков, где наряду с броневой (противоминной [8], динамической [9] и т.д.), все большее внимание уделяется защите от средств разведки и систем наведения оружия в различных диапазонах электромагнитных волн. Рассмотрены и проанализированы основные аспекты снижения заметности, освещены вопросы создания и применения средств снижения заметности [10] в комплексе защиты в целом. Разработаны критерии, методы и математические модели оценки оптической заметности объектов вооружения и военной техники [11]. Получила дальнейшее развитие электродинамическая теория рассеяния в интересах исследования вторичного излучения радиолокационных объектов сложной формы, предложены методы расчета и приведены характеристики рассеяния объектов [12], обоснована необходимость формирования заданного радиолокационного отражения уже на этапе проектирования объекта бронетехники [13] и др. Однако вопросы выявления демаскирующих признаков танка, влияющих на обнаружение его средствами разведки и последующее наведение средств поражения, а также направления их снижения – не нашли достаточного освещения.

Целью статьи является проведение анализа конструкций и характеристик элементов танка как объекта защиты от средств разведки и систем наведения оружия (СРСНО) для выявления демаскирующих признаков, влияющих на эффективность обнаружения и наведения оружия в различных диапазонах спектра.

Развитие защиты от средств разведки и систем наведения оружия. С момента появления танка как боевой машины основным назначением его защиты, позже – систем защиты, было обеспечение высокой живучести танка на поле боя. Это обеспечивалось в первую очередь броневой защитой.

Во время первой мировой войны основную угрозу представлял ружейно-пулеметный огонь, поэтому танки имели противопульное бронирование, равностойкое по всем направлениям обстрела. Однако уже в это время наряду с обычной бронёй на английском танке Mk V устанавливалось оборудование для постановки дымовой завесы.

Основной защитой танков, создаваемых в межвоенный период (1918–1939 гг.), оставалась броня, защищавшая от пуль и осколков. Как исключение – на французских легких танках «Рено» AMR 33/35 и «Гочкис» H-35 появляются элементы деформирующего окрашивания, на советском танке Т-28 – приборы дымопуска [14].

Защита танков периода второй мировой войны наряду с противоснарядной броневой защитой корпуса и башни – Т-34, KV, ИС (СССР), «Валентайн», «Черчилль» (Великобритания), «Шерман» (США), включала также деформирующее окрашивание и дымовые гранатометы – «Пантера», «Тигр» (Германия). Для маскировки широко использовались ветки деревьев и кустарников, зимний камуфляж.

Для 50-х и начала 60-х гг. характерен интенсивный рост могущества бронейных подкалиберных и кумулятивных снарядов. Противотанковая оборона стала насыщаться противотанковым неуправляемым и управляемым оружием; появилось ядерное и химическое оружие.

Создаваемые до этого периода танки не обладали необходимыми характеристиками: средние – защищенностью и огневой мощностью, тяжелые – подвижностью. Появляется новый тип танка следующего поколения – основной боевой танк (ОБТ). Повышение уровня защищенности этих танков достигается дифференцированием броневой защиты и применением комбинированной брони, выбором рациональных углов наклона защитных преград, уменьшением забронированных пространств, установкой бортовых экранов. Все большее распространение получают элементы защиты от средств разведки и систем наведения оружия – деформирующее окрашивание, термодымовая аппаратура, системы постановки дымовой завесы. Появляются дымовые снаряды.

Перечисленный комплекс защитных мероприятий позволил обеспечить приемлемый уровень защиты танков 60–70-х гг. при сравнительно небольшом увеличении массы. Это – Т-64, Т-72, Т-80 (СССР), «Чифтен» (Великобритания), «Леопард-1» (ФРГ), М-60 и его модификации (США), AMX30 (Франция), STRV-103 (Швеция).

Дальнейшее повышение могущества и расширение номенклатуры противотанковых средств привело к созданию в 80-х годах танков следующего поколения. Особенностью защиты танков Т-64БВ, Т-80БВ/У/УД (СССР), «Челленджер» (Великобритания), «Леопард-2» (ФРГ), М1 «Абрамс» (США), AMX 32 (Франция), STRV-103С (Швеция), «Меркава» Mk1/Mk2 (Израиль) и др. является то, что наряду с баллистической защитой, деформирующее окрашивание, термодымовая аппаратура, дымовые гранатометы становятся неотъемлемой частью конструкции танков (рис. 1–3). Вводятся мероприятия по снижению температуры моторно-трансмиссионного отсека (МТО), выхлопных газов, снижению радиолокационной заметности [14–16].

В конце XX – начале XXI столетий для борьбы с танками формируется обширный арсенал разнообразных боевых средств, включающий в себя средства общего назначения (ядерное оружие, авиация, танки, ракетные войска, полевая артиллерия) и специальные противотанковые средства. Способность обнаруживать и поражать танки обеспечивается как в пределах прямой видимости, так и на дальностях до 200 км (рис. 4).



Рисунок 1 – Средний танк «Пантера»



Рисунок 2 – Пусковые установки системы постановки завесы Т-72



Рисунок 3 – Т-80УД

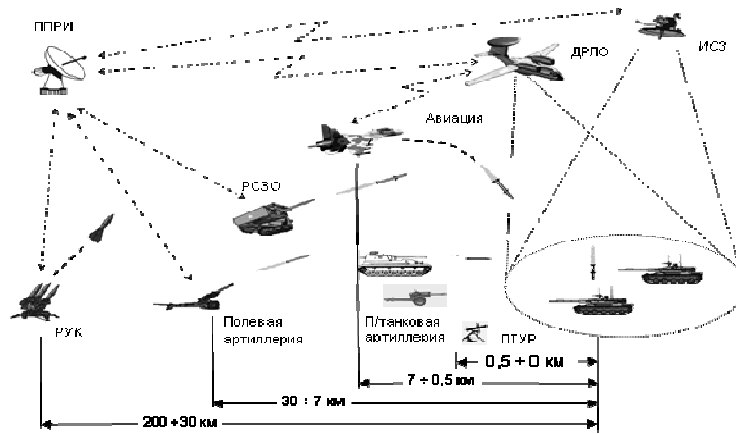


Рисунок 4 – Вариант схемы применения СРСНО

ППРИ – пункт приема разведывательной информации, РУК – ракетный ударный комплекс, РСЗО – реактивная система залпового огня, ПТЗУР – противотанковая управляемая ракета, ДРЛО – дальнее радиолокационное обнаружение, ИСЗ – искусственный спутник Земли

Особое внимание уделяется развитию и использованию высокоточного оружия (ВТО). Это наглядно видно на примере ряда военных операций [17]. Особенностью ВТО является то, что это оружие применяется только при обнаружении, опознавании цели и определении ее координат [18].

Если ранее, в качестве защиты от обнаружения средствами разведки и системами наведения оружия (СРСНО) танкостроители ограничивались применением камуфляжной окраски (защитно-зеленой, оливково-песочной или белой – зимой), термодымовой аппаратуры и пусковых установок для дымовых гранат, то в последние 10–15 лет при создании танков наряду с новыми схемами бронирования, использованием встроенной динамической защиты, работами над комплексами активной защиты и т.п. особое внимание уделяется защите от СРСНО.

На танках Т-90 (Россия), БМ «Оплот» (Украина), «Челленджер-2» (Великобритания), «Леопард-2А5/А6 (Германия), М1А2 «Абрамс» (США), «Леклерк» (Франция), «Меркава» MkIV (Израиль) и др. применены деформирующее окрашивание, мероприятия по снижению температуры элементов конструкции моторно-трансмиссионного отделения и выпуска выхлопных газов, снижению радиолокационной сигнатуры, использованы системы обнаружения различных видов облучения, постановки широкоспектральных завес и т.д. [14–16].

Анализ конструкций и характеристик элементов танка, влияющих на эффективность обнаружения и наведения оружия в различных диапазонах спектра. Поражению танков в настоящее время предшествует разведка и наведение оружия. При этом выделяют следующие этапы, которые следуют друг за другом:

- поиск и обнаружение цели;
- распознавание (идентификация типа) цели;
- определение координат цели и ее сопровождение (слежение).

Обнаружение цели производится по ее демаскирующим признакам (сигналам) основой которых являются электромагнитное поле наблюдаемого объекта, отличающееся от полей, создаваемых окружающей средой (фоном).

С этой точки зрения важно уяснить факторы, которые являются определяющими для обнаружения танка как физического объекта средствами разведки и системами наведения оружия в различных диапазонах электромагнитного излучения для последующего построения адекватной защиты.

Оптический (видимый) диапазон (0,4–0,76 мкм). В оптическом диапазоне обнаружение объектов определяется:

- яркостным контрастом K с окружающим фоном, при этом дополнительной информацией является цветовой контраст между объектом и фоном;

$$K = \frac{I_o - I_\phi}{I_\phi + I_o \tau_a}, \quad (1)$$

где I_o , I_ϕ , I_d – яркости объекта фона и дымки, τ_a – коэффициент пропускания атмосферы.

- компактностью, зависящей от габаритов объекта;
- сложностью/изрезанностью наружных поверхностей.

На яркость поверхности объекта влияют следующие факторы:

- освещенность в зависимости от времени суток и погодных условий;
- отражающие свойства поверхности, характеризующиеся используемым материалом (стекло, металл, резина) и состоянием наружного слоя (шероховатость – глянцевая, матовая; загрязненность);
- расстояние до объекта, с увеличением которого ухудшается видимость за счет возникновения световоздушной дымки;
- цвет поверхности.

Днем освещенность наружных поверхностей определяется ориентацией по отношению к солнечным лучам. Объект демаскируется собственными тенями, даже при малом контрасте с фоном.

При наблюдении объекта через приборы ночного видения формируются специфические условия создания контраста с фоном [19]. В случае использования приборов активного типа вертикально ориентированные поверхности объектов освещаются значительно ярче, чем горизонтальные участки поверхности земли, освещаемые наклонным лучом прожектора. Поэтому на темном фоне они будут выглядеть более светлыми. При использовании в ночное время приборов пассивного типа, где источниками подсветки являются Луна, звезды и небосвод в целом, с преобладанием вертикальной составляющей освещенности над горизонтальной более чем в 1,6 раза, объект будет выглядеть темным на светлом фоне. Таким образом, в зависимости от внешних условий оптический контраст ночью также может изменяться в очень широких пределах.

Наиболее характерными демаскирующими элементами конструкции танка, наблюдаемыми в оптическом диапазоне являются:

- практически горизонтальная прямая линия пушки (в природе нет протяженных горизонтальных предметов);
- характерный излом башни;
- лобовые и кормовые углы башни и корпуса;
- прямые протяженные линии корпуса;
- гусеничная ходовая часть;
- грязный выхлоп двигателя.

Основным средством защиты в этом диапазоне является маскировка – окрашивание под цвет фона театра боевых действий и искажение внешнего вида танка с помощью различных масок (естественных подручных средств – веток деревьев и кустарников, травы и др., искусственных конструкций – плоских или объемных), размещаемых на наружных поверхностях.

Получение высокого маскирующего эффекта обеспечивается максимально возможным совпадением при окрашивании спектральных характеристик отражения компонентов покрытия и соответствующих элементов господствующего фона, а также изменением геометрии характерных элементов при использовании масок.

Инфракрасный диапазон – лазеры (0,5–1,6, 10,6 мкм). Вероятность опознавания бронеектов с помощью лазерных средств в основном определяется наличием на танке башни [20] и зависит от его габаритных размеров.

Чем меньше силуэт – тем ниже вероятность обнаружения и эффективного наведения оружия.

Инфракрасный диапазон (0,76–15 мкм – ближняя, средняя и дальняя области). Основной характеристикой, влияющей на дальность обнаружения объектов в этом диапазоне, является контраст с фоном, называемый тепловым [21]. Величина теплового контраста ΔB зависит в свою очередь от теплового излучения объекта и фона (3).

$$\Delta B = B_o - (B_\phi - B_\phi^*), \quad (2)$$

где B_o – лучистый поток от объекта, B_ϕ – лучистый поток фона, B_ϕ^* – лучистый поток от участка фона, экранируемого объектом.

Тепловое излучение объекта определяется температурой его наружных поверхностей, величина которых зависит как от нагрева за счет солнечного излучения, так и от собственных источников тепла.

При неработающих источниках собственного тепла танк обнаруживается из-за теплового контраста наружных поверхностей и фона в связи с их неодинаковой интенсивностью нагрева за счет солнечного излучения днем и остывания после захода солнца. Контраст зависит как от составных частей танка и их состояния (размеры башни и корпуса, толщины броневых деталей, покрытие наружных поверхностей, их загрязненность), так и от внешних факторов – погодных условий.

При эксплуатации основными демаскирующими элементами танка, наблюдаемыми в инфракрасном диапазоне, являются:

- моторно-трансмиссионное отделение (крыша МТО, двигатель, коробка перемены передач с бортовыми редукторами, радиаторы системы охлаждения);
- факел выхлопных газов;
- вспомогательный энергоагрегат;
- элементы ходовой части;
- стволы пушки и зенитного пулемета, нагревающиеся в процессе стрельбы.

Направления снижения теплового контраста – экранирование и теплоизоляция нагреваемых конструкций, дефлектирование (вентиляция) элементов силовой установки, смешение отработанных газов с холодным воздухом и т.п.

Радиолокационный диапазон (0,2–4 см).

Активные системы. Радиолокационное обнаружение объекта активными системами основано на отражении им зондирующего сигнала радиолокационной станции (РЛС). При падении электромагнитной энергии на объект на его поверхности возникают или электрические токи, если в его составе проводники, или электрические заряды, если в его составе есть диэлектрики. Вследствие этого объект становится источником излучения электромагнитных волн – так называемого вторичного. Таким образом, объект зондирования, образуя поле вторичного излучения, изменяет характеристики зондирующего сигнала, что является источником информации о нем.

Для количественной оценки радиолокационной характеристики объекта используется условная величина – эффективная поверхность рассеяния (ЭПР), пропорциональная мощности отраженного сигнала и имеющая размерность площади (4).

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\vec{p}^{np} \cdot \vec{E}^{pac}|^2}{|\vec{p}^0 \cdot \vec{E}^0|^2}, \quad (3)$$

где R – расстояние от объекта до приемной антенны РЛС, \vec{p}^{np} – единичный вектор, указывающий направление поляризации приемной антенны, \vec{E}^{pac} – поле, рассеянное объектом в направлении на приемную антенну, \vec{p}^0 – вектор поляризации, \vec{E}^0 – падающее поле (излучение РЛС) [12].

Танк является сложным радиолокационным объектом, т.к. его наружная поверхность состоит из многочисленных плоскостей, по разному ориентированных в направлении РЛС. Каждая из плоскостей является элементарным отражателем и общее поле вторичного излучения объекта формируется за счет интерференции радиоволн, рассеиваемых этими отражателями.

Таким образом, ЭПР танка зависит от следующих факторов:

- положения объекта относительно РЛС;
- габаритных размеров объекта;
- формы, размеров и взаимного расположения элементарных отражателей, составляющих наружную поверхность;
- материала и чистоты обработки наружной поверхности;
- длины волны зондирующего сигнала.

Пассивные системы. В пассивных системах обнаружения и наведения, используют естественное излучение объекта, также как и в инфракрасном диапазоне. В радиолокационном диапазоне такое излучение принято называть радиотепловым. Источниками излучаемой энергии в этом случае являются небосвод, Луна и звезды [23]. Хотя уровень радиотеплового излучения зависит и от собственного излучения объекта, вызванного нагревом наружных поверхностей, основной вклад в радиотепловое поле вносит наведенная составляющая.

Основной характеристикой, влияющей на дальность обнаружения объектов в этом диапазоне, также является контраст с фоном, называемый радиотепловым. Радиотепловые характеристики объекта и фона выражаются через температуру в $^{\circ}\text{K}$. При этом контраст пропорционален разности ΔT_A яркостных температур объекта T_S и фона T_B

$$\Delta T_A = T_S - T_B. \quad (4)$$

Разность яркостных температур (радиотепловой контраст) определяется:

- действительной разностью температур;
- излучательными и отражательными способностями наружных поверхностей танка. Излучательные способности зависят от шероховатости поверхности и свойств материала на глубину, сопоставимую с длиной волны, на которой ведется наблюдение. Отражательная способность металлических поверхностей танка гораздо сильнее фона, при этом структура поверхностей при радиотепловой локации не имеет значения.

- атмосферного поглощения.

Основными направлениями защиты в радиолокационном диапазоне являются - оптимизация архитектуры наружных поверхностей танка, нанесение радиопоглощающих покрытий и материалов, использование радиопоглощающих накидок и сетей.

Перспективным направлением уменьшения демаскирующих факторов танка в широком диапазоне длин волн является применение широкополосных маскировочных сетей, которые не только изменяют внешний облик защищаемого объекта, но и снижают его отражательные характеристики и уменьшают контраст с фоном.

Рассмотренные выше способы защиты от средств разведки и наведения оружия являются пассивными. Но существует еще одно направление – средства активного противодействия. Применение их с одной стороны позволяет обнаружить танк, но с другой значительно снижает эффективность систем наведения оружия. Это постановка электромагнитных помех, «срывающих» работу систем наведения или инициирующих подрыв противотанковых боеприпасов на безопасном удалении и завес со специальными характеристиками, позволяющими «скрыть» танк от систем наведения оружия. Такие средства могут применяться для всех диапазонов спектра. Однако эффективность их применения и необходимая энергетическая мощность напрямую зависят от уровня демаскирующих признаков защищаемого объекта.

Выводы

1. Конструкция танка, как объекта защиты, постоянно совершенствуется адекватно появляющимся противотанковым средствам поражения, при этом элементы защиты от средств разведки и систем наведения оружия занимают все большее место в общем комплексе защиты.

2. Танк, являясь сложной технической системой и обладая характерным внешним обликом, имеет широкую номенклатуру демаскирующих признаков во всех диапазонах спектра.

3. Существуют как пассивные, так и активные способы защиты от средств разведки и систем наведения оружия.

4. Учитывая многообразие средств разведки и систем наведения оружия, существенные различия используемых физических принципов обнаружения в зависимости от диапазона длин волн, жесткие массогабаритные ограничения, построение максимально эффективной защиты от СРСНО необходимо вести в следующих направлениях:

- определение наиболее опасных СРСНО в зависимости от их технических характеристик и тактики применения;

- совершенствование защитных свойств танка в каждом диапазоне применения СРСНО с обеспечением рационального сочетания различных пассивных средств защиты;

- развитие систем постановки помех и противодействия с учетом уровня заметности объекта, достигнутого пассивными средствами, обеспечение воздействия на СРСНО на различных дальностях - построение эшелонированной защиты;

- внедрение в комплекс защиты танка интегрированных систем управления и обеспечение взаимодействия с другими системами как танка (управления огнем, движением), так и подразделения (управления боем).

Литература

1. Ezio Bonsignore. Gulp experience raises tank survivability issues // Military technology. – 1992. – №2 – P. 64–70.

2. Суворов С. Бронетанковая техника в современных войнах // Техника и вооружение. – 2006. – №7. – С. 34–40, – №8. – С. 18–24.

3. Chassillan Marc. Premiers enseignements techniques sur les operations en Irak // RAIDS. – 2003. – aug. – P. 48–53.

4. Защита танков / В.А. Григорян, Е.Г. Юдин, И.И. Терехин и др.; Под ред. В.А. Григоряна. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 327 с.

5. Теория и конструкция танка. – Т. 10. Кн. 2 Комплексная защита. – М.: Машиностроение, 1990. – 208 с. Тасмно. Инв. 8854.

6. Тарасенко А. Комплексная защита бронетанковой техники. Украинский подход // Техника и вооружение. – 2007. – №2. – С. 10–16, – №3. – С. 34–38.
7. Растопшин М. Пути повышения параметров защиты танков и эффективности противотанковых средств // Техника и вооружение. – 2002. – №9. – С. 18–21.
8. La protection contre les mines // RAIDS.– 2004. – №13. – Р. 36–41.
9. Лапицкий С.В., Чепков И.Б., Васьковский М.И. и др. Синтез, оценка и выбор рациональных вариантов технических решений при разработке защитных устройств динамического типа для боевых бронированных машин // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2006. – №3. – С. 15–21.
10. Филин С.А., Малохина Л.А. Средства снижения заметности (по патентным материалам). – М.: ИНИЦ Роспатента, 2003. – 215 с.
11. Критерии, методы и математические модели оценки оптической заметности объектов вооружения и военной техники. – М.: Воениздат, 1990. – 761 с. Таємно. Инв. 9049.
12. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, С.В. Кукобко и др. // Под ред. О.И. Сухаревского. – Х.: ХУПС, 2009. – 468 с.
13. Васильченко И.И., Колчигин Н.Н. Формирование радиолокационного отражения наземной военной техники при модернизации // Механіка та машинобудування. – 1997. – №2. – С. 156–161. Таємно. Инв. 9194.
14. Полная энциклопедия танков мира. 1915–2000 гг. /Сост. Г. Л. Холявский. – Мн.: ООО «Харвест», 1998. – 576 с.
15. Современные танки. Под редакцией Сафонова Б.С. и Мураховского В.И. – М.: Арсенал-Пресс, 1995. – 320 с.
16. Танки и самоходные установки. – М.: ООО «Издательство АСТ»; СПб.: Terra Fantastica, 2000. – 336 с.
17. Заяц В. Применение авиации США на активной фазе операции в Ираке // Зарубежное военное обозрение. – 2005. – №10. – С. 44–53.
18. Александров В., Рахманов А. ВТО: роль и место в вооруженных конфликтах. Основные тенденции развития // Военный парад. – 2003. – №1. – С. 16–18.
19. Орлов В.А., Петров В.И. Приборы наблюдения ночью и при ограниченной видимости. М.: Воениздат, 1989.
20. Орлов В.А. Лазеры в военной технике. М.: Воениздат, 1976.
21. Сафронов Ю.П., Эльман Р.И. Инфракрасные распознающие устройства. – М.: Воениздат, 1976. – 207 с.
22. Майзельс Е.Н., Торгованов В.А. Измерение характеристик рассеяния радиолокационных целей / Под ред. М.А. Колосова, М.: Изд-во «Советское радио», 1972. – 232 с.
23. Николаев А.Г., Перцов С.В. Радиотеплолокация. – М.: Воениздат, 1970. – 132 с.

Bibliography (transliterated)

1. Ezio Bonsignore. Gulp experience raises tank survivability issues Military technology. – 1992. – #2 – P. 64–70.
2. Suvorov S. Bronetankovaja tehnika v sovremennyh vojnah Tehnika i vooruzhenie. – 2006. – #7. – p. 34–40, – #8. – p. 18–24.
3. Chassillan Marc. Premiers enseignements techniques sur les operations en Irak RAIDS. – 2003. – aug. – P. 48–53.
4. Zashhita tankov V.A. Grigorjan, E.G. Judin, I.I. Terehin i dr.; Pod red. V.A. Grigorjana. – М.: Izd-vo MGTU im. N. Je. Baumana, 2007. – 327 p.
5. Teorija i konstrukcija tanka. – Т. 10. Kn. 2 Kompleksnaja zashhita. – М.: Mashinostroenie, 1990. – 208 s. Таємно. Инв. 8854.
6. Tarasenko A. Kompleksnaja zashhita bronetankovoj tehniki. Ukrainskij podhod Tehnika i vooruzhenie. – 2007. – #2. – p. 10–16, – #3. – p. 34–38.
7. Rastopshin M. Puti povyshenija parametrov zashhity tankov i jeffektivnosti protivotankovyh sredstv Tehnika i vooruzhenie. – 2002. – #9. – p. 18–21.
8. La protection contre les mines RAIDS.– 2004. – #13. – R. 36–41.
9. Lapickij S.V., Chepkov I.B., Vas'kovskij M.I. i dr. Sintez, ocenka i vybor racional'nyh variantov tehniceskikh reshenij pri razrabotke zashhitnyh ustrojstv dinamicheskogo tipa dlja boevykh bronirovannyh mashin Artillerijskoe i strelkoe vooruzhenie. – 2006. – #3. – p. 15–21.

10. Filin S.A., Malohina L.A. Sredstva snizhenija zametnosti (po patentnym materialam). – M.: INIC Rospatenta, 2003. – 215 p.
11. Kriterii, metody i matematicheskie modeli ocenki opticheskoy zametnosti ob'ektov vooruzhenija i voennoj tehniki. – M.: Voenizdat, 1990. – 761 p. Taemno. Inv. 9049.
12. Rassejanie jelektromagnitnyh voln vozdushnymi i nazemnymi radiolokacionnymi ob'ektami: monografija O.I. Suharevskij, V.A. Vasilec, S.V. Kukobko i dr. Pod red. O.I. Suharevskogo. – H.: HUPS, 2009. – 468 p.
13. Vasil'chenko I.I., Kolchigin N.N. Formirovanie radiolokacionnogo otrazhenija nazemnoj voennoj tehniki pri modernizacii Mehanika ta mashinobuduvannja. – 1997. – #2. – p. 156–161. Taemno. Inv. 9194.
14. Polnaja jenciklopedija tankov mira. 1915–2000 gg. Sost. G. L. Holjavskij. – Mn.: OOO «Harvest», 1998. – 576 p.
15. Sovremennye tanki. Pod redakciej Safonova B.S. i Murahovskogo V.I. – M.: Arsenal-Press, 1995. – 320 p.
16. Tanki i samohodnye ustanovki. – M.: OOO «Izdatel'stvo AST»; SPb.: Terra Fantastica, 2000. – 336 p.
17. Zajac V. Primenenie aviacii SShA na aktivnoj faze operacii v Irake Zarubezhnoe voennoe obozrenie. – 2005. – #10. – p. 44–53.
18. Aleksandrov V., Rahmanov A. VTO: rol' i mesto v vooruzhennyh konfliktah. Osnovnye tendencii razvitija Voennyj parad. – 2003. – #1. – p. 16–18.
19. Orlov V.A., Petrov V.I. Pribory nabljudenija noch'ju i pri ogranichennoj vidimosti. M.: Voenizdat, 1989.
20. Orlov V.A. Lazery v voennoj tehnike. M.: Voenizdat, 1976.
21. Safronov Ju.P., Jel'man R.I. Infrakrasnye raspoznajushhie ustrojstva. – M.: Voenizdat, 1976. – 207 p.
22. Majzel's E.N., Torgovanov V.A. Izmerenie harakteristik rassejanija radiolokacionnyh celej Pod red. M.A. Kolosova, M.: Izd-vo «Sovetskoe radio», 1972. – 232 p.
23. Nikolaev A.G., Percov S.V. Radioteplolokacija. – M.: Voenizdat, 1970. – 132 p.

УДК 623.465

Глебов В.В.

ТАНКИ ЯК ОБ'ЄКТ ЗАХИСТУ ВІД ЗАСОБІВ РОЗВІДКИ ТА СИСТЕМ НАВЕДЕННЯ ЗБРОЇ

У статті проведений аналіз удосконалення конструкції захисту танків від засобів поразки, зокрема від засобів розвідки та систем наведення зброї. Сформульовані характерні демаскуючі риси танка як фізичного об'єкта в різних діапазонах електромагнітного випромінювання. Запропоновані напрямки удосконалення захисту танків від засобів розвідки та систем наведення зброї.

Glebov V.V.

TANKS AS OBJECT OF PROTECTION AGAINST RECONNAISSANCE DEVICES AND WEAPONS GUIDANCE SYSTEMS

The article contains an analysis of perfection of the design of protection of tanks against destructions means – in particular, protection against reconnaissance devices and weapons guidance systems. It also defines the specific signatures of the tank as a physical object in various ranges of electromagnetic irradiation. The author offers the ways of perfection of protection of tanks against reconnaissance devices and weapons guidance systems.

Маляров С.П., Сущенко О.А., Сайфетдинов Р.А., Цирук В.Г., Янкелевич Г.Е.

**РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ЦИФРОВОГО СТАБИЛИЗАТОРА
ДЛЯ НАЗЕМНОГО ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА**

Постановка задачи. В последнее время становится актуальным создание высокоточных стабилизаторов, предназначенных для эксплуатации на наземных подвижных объектах. Решение этой проблемы требует создания сложной технической системы «платформа – силовая установка» с использованием цифрового регулятора. При этом необходимо использовать новые подходы к проектированию и испытанию систем исследуемого класса, предназначенных для эксплуатации в сложных условиях. Особое значение имеет проверка точностных параметров, прежде всего динамической погрешности, и создание соответствующих методик испытаний для автономных проверок, что является актуальным для разработчиков стабилизаторов.

Анализ последних исследований и публикаций. Общие принципы организации проверок и оценивания точностных параметров систем управления широкого класса приведены в работе [1]. Анализ погрешностей гироскопической системы стабилизации, к которым можно отнести и стабилизатор рассматриваемого класса приводится в работе [2]. Математическое описание стабилизатора представлено в работе [3].

Особенности разработки стабилизатора. Разработка и проектирование стабилизатора представляет собой многошаговый процесс, который включает четкое определение требований и условий эксплуатации, выбор схемно-технических и программных решений, автономное тестирование, изготовление и испытания [4].

Сложные технические системы «платформа – силовая установка» могут быть построены с использованием множества типов электромеханических устройств и регуляторов и ориентированы на стабилизацию полезной нагрузки разного типа. Но в целом процесс их создания должен включать следующие этапы: анализ требований к системе, включая динамику внешней среды, выполняемые функции, требуемые характеристики, конструктивные ограничения; определение структуры системы; проектирование; тестирование программного обеспечения; автономные и натурные испытания. На этапе проектирования выполняется структурный анализ, определение схемы подвеса, выбор отдельных блоков, синтез и анализ контуров управления, анализ динамических характеристик.

Прежде всего, осуществляется анализ требований к системе. Формализованное определение требований к системе является наиболее критичным и сложным шагом в общем процессе ее создания. Требования к системе определяются анализом ее функций, алгоритмом работы и типом полезной нагрузки. К основным функциям системы исследуемого типа относится отслеживание изображения объекта наблюдения и его стабилизация с учетом того, что аппаратура наблюдения устанавливается на подвижном основании.

Анализ функций системы позволяет определить предъявляемые к ней технические требования, в том числе к динамическим и эксплуатационным характеристикам. К конструктивным ограничениям относятся допустимые габаритные размеры, масса, энергопотребление и стоимость. Эксплуатационные требования определяют точность и особенности управления. Требования к динамическим характеристикам определяют полосу пропускания и характер переходных процессов.

На этапе выбора структуры системы, как правило, рассматривается несколько альтернативных вариантов. При этом определяются типы исполнительных механизмов, гироскопических датчиков, датчиков углов и других составляющих системы «платформа – силовая установка».

После предварительного определения структуры осуществляется выбор схемно-технических и программных решений системы, выполняется структурный анализ и прогнозирование основных точностных характеристик, а также массы, габаритов и стоимости системы. Далее осуществляется окончательный выбор составляющих системы и предлагаются методы обеспечения ее устойчивости и динамических характеристик. Определяется также состав электронных устройств и интерфейсов с другими системами.

Даже после завершения проектирования все технические решения считаются предварительными и требуют подтверждения их правильности. Основным инструментом проверки правильности схемно-технических и программных решений является имитационное моделирование. Математические модели системы «платформа – силовая установка» основываются на соотношениях между моментами и угловыми ускорениями. Математическое описание системы учитывает модели исполнительных механизмов, гироскопических устройств, регулятора и их структурные связи [3]. При этом необходимо учитывать возмущения, действующие на систему, к которым относятся момент неуравновешенности, движение наземного объекта, на котором устанавливается стабилизатор, возмущения, вызванные люфтом привода и т.д.

На последнем этапе создания системы проводят автономные и натурные испытания.

Такой порядок проектирования актуален для систем «платформа – силовая установка» разного типа, но каждый конкретный случай характеризуется своими уникальными особенностями.

Основные особенности стабилизатора рассматриваемого типа определяются их использованием на наземных объектах, которые могут эксплуатироваться в трудных в смысле передвижения условиях, например, в условиях бездорожья. Полезной нагрузкой стабилизатора является аппаратура наблюдения, к которой предъявляются высокие точностные требования.

Очевидно, что эти особенности могут быть эффективно учтены лишь при условии решения двух важных задач:

- 1) стабилизации аппаратуры наблюдения на подвижном основании в горизонтальной и вертикальной плоскости;
- 2) отслеживания местоположения объекта наблюдения в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Решение этих задач возможно посредством использования высокоточных стабилизаторов с цифровым регулятором.

Стабилизаторы с цифровым блоком управления и индикации характеризуются высокими техническими характеристиками, в том числе повышенными скоростями наведения, высокими показателями точности и жесткости стабилизации, увеличением плавности процессов наведения на минимальных скоростях. При этом достигается улучшение эргономических и эксплуатационных показателей, таких как удобство настройки и проверки регулировочных параметров, информативность блока индикации и возможности диагностики работоспособности блоков стабилизатора.

Стабилизатор рассматриваемого типа включает горизонтальный и вертикальный каналы, структурные схемы которых представлены на рис. 1, 2.

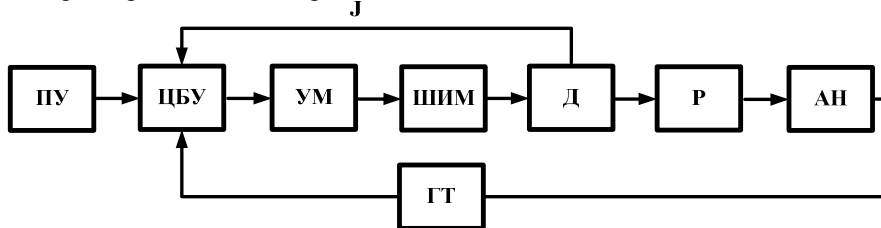


Рисунок 1 – Структурная схема горизонтального канала стабилизатора:

ПУ – пульт управления, ЦБУ цифровой блок управления, УМ – усилитель мощности, ШИМ – широтно-импульсный модулятор, Д – двигатель, Р – редуктор, АН – аппаратура наблюдения, ГТ – гиротахометр, J – ток обмотки двигателя

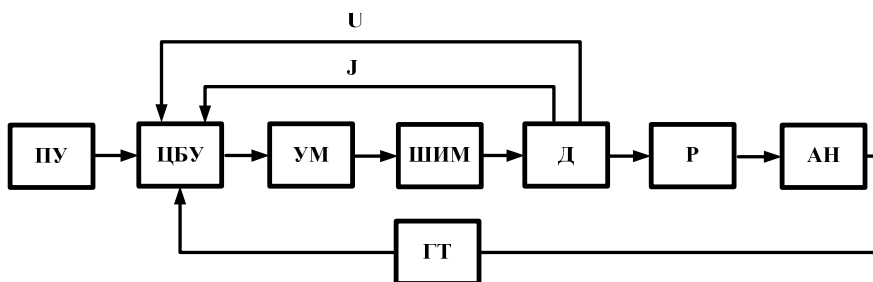


Рисунок 2 – Структурная схема вертикального канала стабилизатора:

U – напряжение обмотки двигателя

В состав цифрового стабилизатора входят цифровой блок управления, гиротахометры горизонтального и вертикального каналов, широтно-импульсный модулятор, электродвигатели постоянного тока, редуктор, пульт управления оператора с блоком индикации.

Выбор двигателя постоянного тока обусловлен его высокими регулировочными, динамическими и энергетическими характеристиками. Главное преимущество двигателя постоянного тока заключается в возможности его использования в качестве малоинерционного регулятора момента [2]. Использование редуктора обусловлено необходимостью стабилизации значительных масс. В качестве измерителя угловой скорости стабилизируемой массы в инерциальном пространстве используется гиротахометр на основе электромеханического гироскопа ввиду необходимости обеспечения высокой точности процессов стабилизации и наведения.

При выборе элементной базы цифрового блока управления во главу угла ставилось достижение компромисса между необходимой точностью и стоимостью. Также принималась во внимание степень сложности проектирования необходимых сопрягающих устройств, которая, как известно, повышается с увеличением тактовой частоты выбранных вычислительных средств. Анализ приведенных требований позволил остановиться на микроконтроллере i8051. При этом программное обеспечение цифрового блока было создано на диалекте языка С для микроконтроллеров семейства i8051. Разработка и отладка программного обеспечения проводилась в среде программирования Keil u Vision V.8.09.

Цифровой блок управления горизонтальным каналом наведения и стабилизации реализует четыре основных сигнала управления, которые поступают на сумматор. Первый сигнал формируется на основании сигнала гироскопа и пульта управления, которые суммируются, а потом поступают на интегратор, на выходе которого формируется сигнал, пропорциональный углу рассогласования. Второй и третий сигналы формируются на основе суммарного сигнала гироскопа и сигнала обратной связи по току обмотки двигателя с использованием фильтров высоких частот и полосового фильтра. Четвертый сигнал определяется сигналом обратной связи по току обмотки двигателя, в его формировании участвуют фильтры высоких и низких частот. Цифровой блок управления вертикальным каналом наведения и стабилизации реализует аналогичные сигналы управления, которые поступают на сумматор. Первый сигнал формируется на основании суммарного сигнала гироскопа и пульта управления, который в дальнейшем подвергается интегрированию и прохождению через фильтры. Второй сигнал формируется на основе сигнала гироскопа и сигналов обратной связи по току и напряжению обмотки двигателя. Третий сигнал формируется на основе только сигнала обратной связи по току обмотки двигателя. Последний четвертый сигнал включает в себя сигналы обратной связи по току и напряжению обмотки двигателя.

Такой подход к формированию закона управления обеспечивает наведение и стабилизацию, а также демпфирование и инвариантность к моментам возмущения.

По линии формирования каждого сигнала установлены пороговые устройства, ограничивающие их уровень. С целью повышения качества процессов управления в процессе эксплуатации предусмотрено использование настроечных коэффициентов.

Процесс разработки стабилизатора сопровождался испытаниями, среди которых можно выделить три этапа:

- 1) математическое моделирование на компьютерах;
- 2) испытания на стенде-имитаторе объекта;
- 3) испытания на динамическом стенде;
- 4) испытания в составе наземного объекта.

Математическое моделирование было выполнено в системе MATLAB. Главное преимущество этой вычислительной системы заключается в наличии расширенных пакетов, специально созданных для проведения расчетно-моделирующих работ при проектировании современных систем управления. В процессе разработки стабилизатора широко использовался расширенный пакет Simulink, позволяющий учитывать в модели нелинейности, присущие реальным системам.

Следует отметить, что современные научные требования одной из самых авторитетных ассоциаций инженеров IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, США) к решению технической проблемы включают моделирование с использованием системы MATLAB.

Испытания при помощи стенда-имитатора позволяют разработчику стабилизатора осуществлять необходимые проверки и отработку схемно-технических решений в процессе проектирования.

Испытания при помощи динамического стенда позволяют разработчику в условиях предприятия-изготовителя оценить работоспособность стабилизатора в условиях, приближенных к условиям его эксплуатации.

И, наконец, испытания после установки на объект эксплуатации, позволяют выполнить окончательную оценку эксплуатационных характеристик стабилизатора.

В процессе испытаний осуществлялась настройка приводов вертикального и горизонтального каналов стабилизатора, а также проверялись и оценивались следующие параметры: динамическая погрешность стабилизации; жесткость стабилизации системы; характеристики переходного процесса, в том числе быстрдействие и перерегулирование; запас устойчивости; влияние остаточного момента неуравновешенности на параметры стабилизатора; максимальная и минимальная скорости наведения; неплавность скорости наведения.

На первом этапе испытаний выполнялось имитационное моделирование с использованием математической модели стабилизатора, составленной на основе расширенного пакета Simulink [3]. При этом моделировались как основные режимы функционирования реальной системы, так и ее основные проверки, в том числе динамической погрешности, жесткости стабилизации и показателей переходного процесса, как это показано на рис. 3.

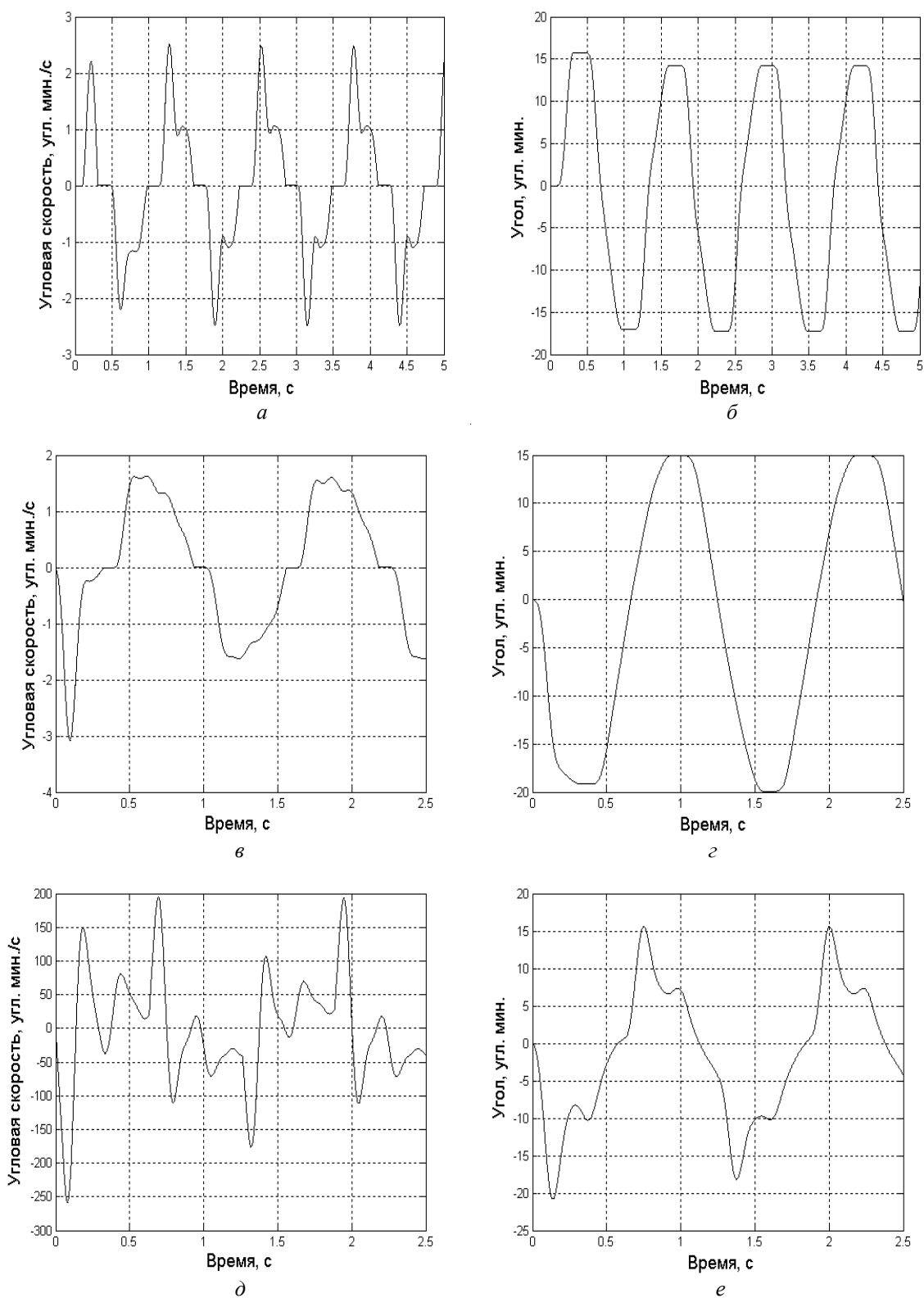


Рисунок 3 – Угловые скорости и погрешности углового положения стабилизатора при условии разных способов задания контрольных сигналов:
 а, б – на выходе интегратора; в, з – на входе демодулятора в цепи интегрирования;
 д, е – на входе гиротакметра

При разработке методики проверки была промоделирована возможность задания контрольного сигнала на входе гироскопа и на выходе интегратора. Результаты исследований подтвердили возможность использования тестовых цифровых сигналов, что упростило процесс автономного тестирования стабилизатора. Это позволило оценивать динамическую погрешность стабилизатора за счет задания гармонического сигнала программными средствами.

Следует отметить, что использование гармонического сигнала обеспечивает имитацию движения наземного объекта, на котором эксплуатируется стабилизатор, в разных направлениях с разными скоростями.

Таким образом, методика проверки динамической погрешности стабилизатора программными средствами должна включать такие шаги [5].

1. Тарировку амплитуды гармонического воздействия с целью обеспечения отклонения объекта стабилизации на некоторые заданные углы. Как уже отмечалось, стабилизатор состоит из двух независимых каналов, которые обеспечивают стабилизацию в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Проверки разных каналов, отличаются некоторыми несущественными особенностями, например, в части величины амплитуды моделируемого сигнала.

2. Формирование синусоидального сигнала и его подачу в цепь определения погрешности углового положения стабилизируемого объекта на протяжении некоторого заданного времени.

3. Суммирование тестового гармонического сигнала с сигналом основной цепи канала управления.

4. Определение амплитуды углового положения объекта стабилизации и оценивание разности между определенной амплитудой и ее заданным значением. Эта оценка и представляет собой оценку динамической погрешности.

Предложенный подход может быть использован для оценивания запаса устойчивости при следующей последовательности действий.

1. Определение в процессе тарировки в статическом режиме амплитуды сигнала, которая обеспечивает отклонение стабилизируемого объекта на некоторый заданный угол.

2. Задание сигнала с определенным уровнем в контрольную точку после интегратора на протяжении некоторого заданного промежутка времени.

Процесс определения перерегулирования представлен на рис. 4.

Для стабилизаторов исследуемого класса наибольшее значение имеют проверки в условиях контрольной трассы. Наличие указанных испытательных средств позволяет существенно сократить сроки разработки стабилизатора и внедрения его в эксплуатацию.

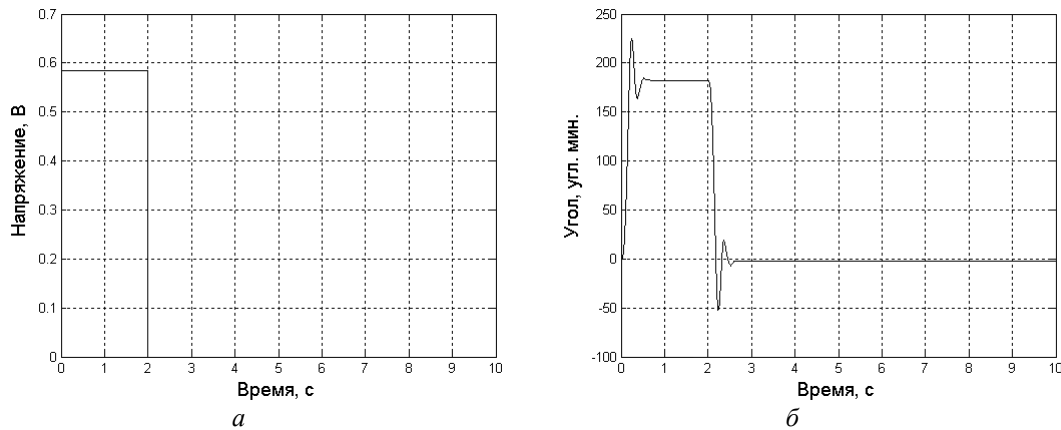


Рисунок 4 – Методика проверки перерегулирования:

а – задание тестового сигнала; *б* – процесс изменения углового положения стабилизируемого объекта

На втором этапе испытания проводились на стенде-имитаторе объекта, что позволило оценить правильность принятых схемно-технических решений и программно-алгоритмического обеспечения в целом.

Испытания на третьем этапе проводились на динамическом стенде, что позволило проверить работоспособность стабилизатора в режимах, которые нельзя реализовать на стенде-имитаторе, оценить динамические характеристики стабилизатора, а также подтвердить результаты расчетно-моделирующих работ. Схема испытаний стабилизатора на динамическом стенде представлена на рис. 5.

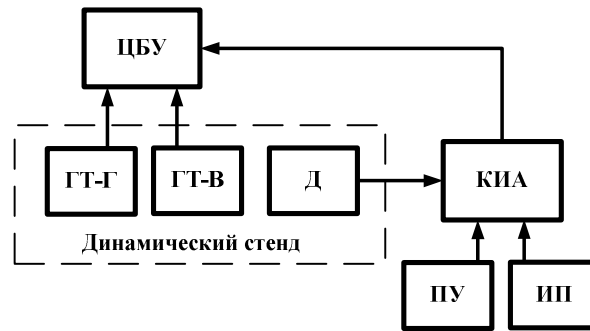


Рисунок 5 – Схема испытаний стабилизатора на динамическом стенде:

КИА – контрольно-измерительная аппаратура, ИП – источник питания; ГТ-Г – гиротахометр горизонтальный; ГТ-В – гиротахометр вертикальный

Испытания, проводимые с помощью динамического стенда, позволяют оценить:

- 1) характеристики функционирования стабилизатора в процессах наведения и стабилизации;
- 2) максимальные и минимальные скорости наведения во всех режимах работы;
- 3) нестабильность компенсации нулевых сигналов датчиков кинематических параметров при малых уровнях сигналов.

При этом были выполнены проверки

- 1) влияния на работу стабилизатора изменений моментов инерции аппаратуры наблюдения;
- 2) возможностей автоматической диагностики исправного состояния блоков стабилизатора с имитацией их отказов.

Следует отметить, что по итогам всех видов испытаний проводились корректировки программно-алгоритмического обеспечения стабилизатора, направленные на улучшение его точностных и динамических характеристик.

Четвертый этап испытаний цифрового стабилизатора проводится в составе оборудования наземного объекта с целью окончательного подтверждения правильности выбранных схемно-технических и программно-алгоритмических решений.

Необходимые испытания могут быть классифицированы как стыковочные, типовые и межведомственные.

Для оценки эффективности работы цифрового стабилизатора в сопряжении с реальной аппаратурой необходимо проводить стыковочные испытания стабилизатора в составе наземного объекта. По результатам испытаний устраняются замечания по согласованию электрических связей стабилизатора и вырабатываются соответствующие рекомендации.

Проведение типовых испытаний обусловлено необходимостью проверки изменений, вносимых в схемно-технические решения и программно-алгоритмическое обеспечение стабилизатора в процессе его разработки. Для подтверждения правильности выбора направления модернизации и эффективности изменений, вносимых в конструкторскую документацию стабилизатора, типовые испытания следует проводить в полном объеме.

В части направлений дальнейшей модернизации стабилизатора, прежде всего, следует рассмотреть возможность замены гироскопических приборов и датчиков углов.

В современных стабилизаторах могут использоваться разные типы гироскопических приборов. В наиболее ответственных случаях до сих пор используют электромеханические гироскопические приборы ввиду их низких шумов и высоких динамических характеристик. Но для платформенной стабилизации уже начинают использовать волоконно-оптические гироскопы, поскольку они имеют более высокие динамические характеристики и больший ресурс работы в сравнении с электромеханическими гироскопами. Кольцевые лазерные гироскопы, которые нашли широкое применение в инерциальной навигации благодаря малым уходам и стабильности масштабного коэффициента, в инерциальной платформенной стабилизации используются редко вследствие их больших размеров и высоких шумов квантования. Для применений средней и низкой точности, где на первый план выходят малые габариты и низкая стоимость, могут использоваться гироскопические измерители, построенные на основе MEMS-технологии. В последнее время стали появляться датчики этого типа, способные обеспечить высокие точностные требования, предъявляемые к стабилизаторам исследуемого класса.

В стабилизаторах исследуемого типа используются датчики угла, установленные в осях подвеса платформы. К наиболее важным характеристикам датчиков углов относят точность и разрешающую спо-

собность, которым должно отдаваться преимущество в сравнении с компромиссными требованиями к габаритам и массе.

Для измерения углов, больших нескольких градусов, традиционно используют индукционные датчики, например, многообмоточные СКВТ и индуктосины, поскольку они более надежны и при условии правильного использования могут достигать высокой точности, так как многообмоточные датчики имеют тенденцию к осреднению последствий влияния эксцентриситета. Эти датчики имеют высокую разрешающую способность, которая ограничивается аналого-цифровым преобразованием и уровнем электрических сигналов.

В последнее время становятся распространенными инкрементные энкодеры (кодовые датчики положения), которые обеспечивают разрешающую способность до доли μ рад. По габаритам эти устройства значительно меньше индукционных датчиков. Энкодеры характеризуются несколько более высокими динамическими характеристиками в сравнении с индукционными датчиками.

В качестве основных направлений дальнейшей модернизации стабилизатора следует выделить:

1. Поиск возможностей уменьшения габаритов и массы блоков стабилизатора.
2. Введение технологического режима измерения динамической ошибки при имитации движения подвижного объекта по пересеченной местности.
3. Поиск перспективных датчиков угловой скорости и датчиков угла с требуемыми характеристиками.

Выводы. Предложенные подходы к разработке и корректировке схемно-технических решений в процессе проведения испытаний цифрового стабилизатора позволяют обеспечить его высокие точностные характеристики и подтверждают эффективность его применения для эксплуатации на наземных подвижных объектах.

Литература

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
2. Кочергин В.В. Следящие системы с двигателем постоянного тока. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 168 с.
3. Сущенко О.А., Сайфетдинов Р.А. Математична модель системи стабілізації рухомого наземного об'єкта / Електроніка та системи управління. – К.2207. – №3(13). – С. 146–151.
4. Masten M. K. Inertially stabilized platforms for optical imaging systems/ IEEE Control Systems Magazine. – #1. – Vol. 28. – 2008. – P. 148–156.
5. Сущенко О.А., Янкевич Г.Є., Маляров С.П., Сайфетдинов Р.А. Особливості автономного тестування стабілізатора наземного рухомого об'єкта. – Електроніка та системи керування. – 2009. – № 3. – С. 73–79.

Bibliography (transliterated)

1. Besekerskiy V.A., Popov E.P. Teorija sistem avtomaticheskogo regulirovanija. – M.: Nauka, 1975. – 768 p.
2. Kochergin V.V. Sledjashhie sistemy s dvigatelem postojannogo toka. – L.: Jenergoatomizdat, 1988. – 168 p.
3. Sushhenko O.A., Sajfetdinov R.A. Matematichna model' sistemi stabilizacii ruhomogo nazemnogo ob'ekta / Elektronika ta sistemi upravlinnja. – K.2207. – #3(13). – p. 146–151.
4. Masten M. K. Inertially stabilized platforms for optical imaging systems IEEE Control Systems Magazine. – #1. – Vol. 28. – 2008. – R. 148–156.
5. Sushhenko O.A., Jankelevich G.Є., Maljarov S.P., Sajfetdinov R.A. Osoblivosti avtonomnogo testuvannja stabilizatora nazemnogo ruhomogo ob'ekta. – Elektronika ta sistemi keruvannja. – 2009. – # 3. – p. 73–79.

УДК 629.3.025.2

Маляров С.П., Сущенко О.А., Сайфетдинов Р.А., Цірук В.Г., Янкевич Г.Є.

РОЗРОБКА ТА ВИПРОБУВАННЯ ЦИФРОВОГО СТАБІЛІЗАТОРА ДЛЯ НАЗЕМНОГО РУХОМОГО ОБ'ЄКТА

Розглянуто основні етапи розробки та випробувань цифрового стабілізатора для наземного рухомого об'єкта. Представлено результати імітаційного моделювання режимів функціонування стабілізатора та його перевірок. Запропоновано алгоритм перевірки динамічної похибки стабілізатора програмними засобами. Визначено основні напрями вдосконалення цифрового стабілізатора.

Malyarov S.P., Sushchenko O.A., Sayfetdinov P.A., Tziruk V.G., Yankelevich G.E.

DESIGN AND TESTS OF STABILIZER FOR THE GROUND VEHICLE

The basic design and test phases of the digital stabilizer for the ground vehicle are considered. The results of the stabilizer operation modes and checks simulation are represented. The algorithm of the stabilized dynamic error check by the software tools is suggested. The basic trends of the stabilizer development are defined.

УДК 629.1.032.1

Зарянов В.А., Иванов Ю.П., Климов В.Ф., Лазурко А.В., Магерамов Л.К.-А., Михайлов В.В.

К ВОПРОСУ ВОЗДУХОПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ПРЕОДОЛЕНИИ ВОДНЫХ ПРЕГРАД

Актуальность проблемы. С целью расширения рынков сбыта вооружений и военной техники для отечественных разработчиков важное значение приобретает комплектование предлагаемых потребителям образцов бронетехники оборудованием, отвечающим требованиям и стандартам страны покупателя по применяемым в вооруженных силах боеприпасам, горюче-смазочным и эксплуатационным материалам, безопасности, защищенности и др.

Оснащение танков БМ «ОПЛОТ», Т-80УД и модернизированных Т-72, Т-55 (с двигателями серии 5ТД и 6ТД) вооружением с калибром пушки 120 мм и унитарным снарядом потребовало установки отсека автомата заряжания (АЗ) в кормовой части башни. Такой отсек, отвечающий требованиям покупателя по количеству укладываемых в него снарядов, защищенности и безопасности эксплуатации, в силу компоновки, принятой для отечественных танков (размещение силового отделения в кормовой части), своей проекцией перекрывает силовое отделение, что не позволяет применить штатное оборудование для преодоления водных преград.

Получившая распространение на отечественных танках схема применения оборудования подводного вождения (ОПВ) [1], состоящего из узлов герметизации танка, воздухозаборного устройства (для преодоления водных преград глубиной до 1,8 м без предварительной подготовки – режим «БРОД»), воздухопитающей и выхлопной труб (для преодоления водных преград глубиной до 5 м с предварительной подготовкой – режим подводный ход «ПХ») не могла быть применена ни с доработкой воздухопитающей трубы изгибом для обвода фронтальной поверхности отсека АЗ, по причине повышения сопротивления на входе в двигатель, ни переносом воздухозаборного устройства (ВЗУ) вследствие высокой плотности компоновки силового отделения и привязки ВЗУ к воздухоочистителю.

Целью статьи является отражение проведенных теоретических и экспериментальных исследований по обеспечению требуемых эксплуатационных характеристик силовых установок бронетанковой техники с установленным на корме башни отсеком АЗ при преодолении водных преград.

Основная часть. Воздухозаборное устройство силовой установки танка БМ «ОПЛОТ» должно обеспечивать преодоление по дну водных преград глубиной до 5 м (после предварительной подготовки) и глубиной до 1,8 м (без предварительной подготовки), при этом обеспечивая статическое разрежение на впуске в двигатель 6ТД-2 (0,0152_{-0,005}) МПа [(1550₋₅₀) мм вод. ст.] для расхода воздуха (1,85±0,5) кг/с. Кроме этого, необходимо учитывать следующие параметры двигателя [2]:

– статическое противодавление на выпуске (0,0294_{-0,004}) МПа [(0,3_{-0,04}) кгс/см²] для расхода газа (1,58±0,02) кг/с при температуре 923 К (650 °С), допускается повышение противодавления до 0,036 МПа (0,37 кгс/см²);

– температура газа на выпуске из турбины не более 973К (700 °С);

– производительность компрессора, приведенная к стандартным атмосферным условиям:

– на режиме внешней характеристики при частоте вращения двигателя 2800 мин⁻¹ 1,85 кг/с,

– на режиме внешней характеристики при частоте вращения двигателя 2600 мин⁻¹ 1,7 кг/с,

а также площадь проходного сечения соединенного с воздухоочистителем ВЗУ, составляющая 0,034 м².

Учитывая вышеизложенные проблемы по обводу воздухозаборной трубой отсека АЗ, была предложена схема забора воздуха непосредственно через отсек АЗ (см. рис. 1).

В соответствии с предложенной схемой забор воздуха для обеспечения режима «БРОД» производится следующим образом: от тумблера с места командира танка открываются (закрываются) пневмоприводами крышки люков на отсеке АЗ (верхнего люка для забора воздуха, нижнего люка – для стыковки трубы ВЗУ с отсеком АЗ), по команде механика-водителя поднимается (опускается) и стыкуется с отсеком труба ВЗУ, укороченная относительно штатной на 400 мм. Для преодоления водной преграды глубиной до 5 м (режим «ПХ») – на фланец верхнего люка на отсеке АЗ дополнительно устанавливается воздухопитающая труба. Установка трубы выброса отработавших газов в режиме «ПХ» изменений не претерпевает.

Режим преодоления водных преград характеризуется увеличением разрежения в пылесборнике воздухоочистителя и уменьшением коэффициента отсоса, приводящим к снижению степени очистки воздуха.

Величина сопротивления системы всасывания складывается из сопротивления отдельных элементов, определяемых по формуле:

$$H_i = \xi_i \frac{\rho_i \cdot W^2}{2} \quad (1)$$

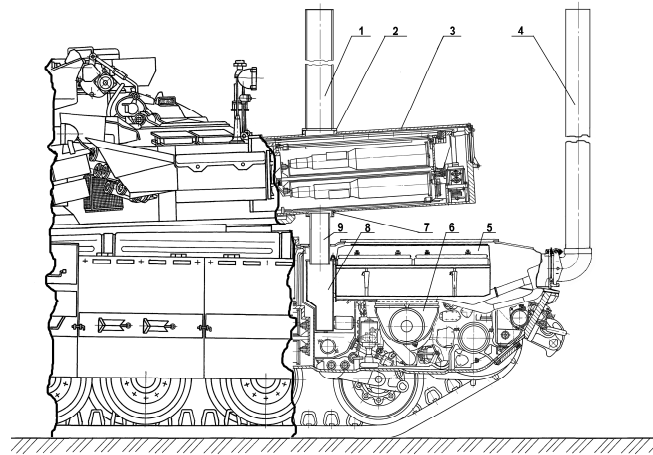


Рисунок 1 – Схема забору воздуха через отсек АЗ

1 – воздухопитающая труба; 2 – верхний люк на отсеке АЗ; 3 – отсек АЗ; 4 – выхлопная труба; 5 – воздухоочиститель; 6 – входной патрубок двигателя; 7 – нижний люк на отсеке АЗ; 8 – ВЗУ; 9 – труба ВЗУ

Сопротивление пылесборника равно:

$$H_{\text{пыл.}} = (0,45 \dots 0,5) H_{\text{ВО}} + H_{\text{ВХ}}, \quad (2)$$

где $H_{\text{ВО}}$ – сопротивление воздухоочистителя с входником двигателя; $H_{\text{ВХ}}$ – сопротивление входных устройств.

Происходит снижение расхода воздуха на трассе отсоса ($G_{\text{отс.}}$) и коэффициент отсоса в этом случае будет равен:

$$q_{\text{отс}} = \frac{G_{\text{отс.бр.}}}{G_{\text{отс}}}, \quad (3)$$

где $G_{\text{отс.бр.}}$ – расход воздуха на трассе отсоса в режиме «БРОД».

Однако нормальная очистка воздуха достигается в случае $q_{\text{отс.}} \geq 5\%$.

Исходя из этого, рассчитывая сопротивление отдельных элементов по формуле (1), сопротивление циклона и разрежение в пылесборнике определяется из следующих выражений:

$$H_{\text{ц.}} = \frac{H_1 - H_2}{\frac{\rho_1 W_1^2}{2}} + \left(1 - \lambda_1 \frac{L_1}{d_1}\right) - \left(1 + \lambda_2 \frac{L_2}{d_2}\right) \frac{\rho_1}{\rho_2} (1 - q_{\text{отс}}^{-2}) \left(\frac{F_1}{F_2}\right)^2; \quad (4)$$

$$H_{\text{пыл.}} = \frac{H_1 - H_3}{\frac{\rho_1 W_1^2}{2}} + \left(1 - \lambda_1 \frac{L_1}{d_1}\right) - \left(1 - \lambda_3 \frac{L_3}{d_3}\right) \frac{\rho_3}{\rho_1} q_{\text{отс}}^{-2} \left(\frac{F_1}{F_3}\right)^2, \quad (5)$$

где H_1, H_2, H_3 – разрежение в сечении 1, 2 и 3 циклонов; ρ_1, ρ_2, ρ_3 – плотность воздуха; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – кинематическая вязкость пылевоздушной смеси; $L_1, L_2, L_3, d_1, d_2, d_3, F_1, F_2, F_3$ – геометрические размеры циклона в сечении 1, 2 и 3; W – скорость воздушного потока; $q_{\text{отс}}$ – коэффициент отсоса эжектора воздухоочистителя.

В связи с уменьшением ($q_{\text{отс}}$) и ростом величины сопротивления пылесборника ($H_{\text{пыл.}}$), коэффициент пропуска воздуха определяется по следующей зависимости:

$$\eta_{\text{пр.}} = 1 - 0,139D^{0,97} \left[\left(\frac{W_1 d_1 j_1}{\mu} \right)^{-0,87} \Phi_1 C_1 + \dots + \left(\frac{W_n d_n j_n}{\mu} \right)^{-0,87} \Phi_n C_n \right], \quad (6)$$

где d_n – средний диаметр фракции пыли; Φ_n – содержание частиц пыли по массе; μ – динамическая вязкость пылевой смеси; j_n – удельный вес фракции пыли; D – диаметр циклона; C – поправочный коэффициент отсоса, определяемый для каждого сечения по формуле:

$$C_n = \left(\frac{d_n j_n}{j_2} \right)^{-0,97}, \quad (7)$$

где j_2 – удельный вес воздушного потока.

Для оценки возможности забора воздуха через отсек АЗ был выполнен расчет аэродинамического сопротивления трассы в режиме «ПХ», как наиболее критическом вследствие установки дополнительной воздухопитающей трубы:

$$H_{\text{вс.}} = H_{\text{тр}} + H_{\text{отс.}} + H_{\text{ВЗУ}} - H_{\text{ВО}} = 0,0151 \text{ МПа (1530 мм вод. ст.)}, \quad (8)$$

где $H_{\text{вс.}} = 0,0151$ МПа (1530 мм вод. ст.) – сопротивление системы воздухопитания двигателя при установленном ОПВ в режиме «ПХ»; $H_{\text{тр}} = 0,0002$ МПа (20 мм вод. ст.) – сопротивление воздухопитающей трубы, устанавливаемой на фланец верхнего люка на отсеке АЗ; $H_{\text{отс.}} = 0,0023$ МПа (230 мм вод. ст.) – сопротивление отсека АЗ с размещенными снарядами; $H_{\text{ВЗУ}} = 0,0008$ МПа (80 мм вод. ст.) – сопротивление ВЗУ; $H_{\text{ВО}} = 0,012$ МПа (1200 мм вод. ст.) – сопротивление воздухоочистителя с входником двигателя.

Определение характеристик новых элементов заборной трассы (доработанного ВЗУ и отсека АЗ) проводилось на моделях с использованием методов геометрического и аэродинамического моделирования.

Анализ результатов проведенного расчета показал, что величина аэродинамического сопротивления трассы забора воздуха для питания двигателя в режимах «БРОД» и «ПХ» 0,0151 МПа (1530 мм вод. ст.) не превышает допустимого техническими условиями на двигатель 6ТД-2 значения статического разрежения на впуске – 0,0152 МПа (1550 мм вод. ст.), при этом на 0,001 МПа (100 мм вод. ст.) выше среднестатистических значений для серийных танков с двигателями 6ТД-2.

Дальнейшие работы перешли в практическую плоскость реализации данной схемы воздухопитания непосредственно на танке без риска эксплуатации двигателя в помпажных зонах при установленном ОПВ. При изготовлении и оснащении танка элементами ОПВ значимыми техническими проблемами стали позиционирование башни с отсеком АЗ относительно корпуса танка и введение блокировок приводов управления крышками люков и подъёмом (опусканием) трубы ВЗУ. После решения этих вопросов и доводки конструкции танк БМ «ОПЛОТ» был испытан на комплексном стенде испытаний моторно-трансмиссионных отделений и получены основные мощностные характеристики силовой установки. В результате этих испытаний установлено, что величина мощности на ведущих колесах составляет 604 кВт (821 л.с.) и находится в пределах среднестатистических значений для силовых установок с двигателем 6ТД-2. Все остальные параметры силовой установки соответствуют техническим условиям (температура газа на выпуске из турбины $T_g = 864$ К (591 °С), статическое противодавление на выпуске $P_g = 0,0354$ МПа (0,354 кгс/см²) и пр.).

С целью определения аэродинамического сопротивления системы воздухопитания двигателя, проверки функционирования ОПВ, надежности крепления, герметичности соединений и обеспечения сброса труб ОПВ следующим этапом стало проведение испытаний танка с установленным ОПВ в бассейне и ходовые испытания 10 км.

В ходе проведенных испытаний были получены зависимости сопротивления системы питания двигателя воздухом в режимах «БРОД» и «ПХ» от частоты вращения коленчатого вала двигателя (см. рис. 2).

Максимальное значение сопротивления (см. рис. 2) 0,015 МПа (1510 мм вод. ст.) практически совпадает с расчетным и не превышает допустимое техническими условиями на двигатель. Однако, учитывая, что система воздухоочистки танка БМ «ОПЛОТ» циклонно-кассетного типа, необходимо отметить, что в процессе эксплуатации по мере забивания кассет пылью, сопротивление на всасывании в двигатель будет превышать допустимую величину, что может приводить к снижению степени очистки воздуха и нарушению теплового баланса двигателя. Для предотвращения этого явления механику-водителю танка необходимо следить за сигнализацией предельного состояния воздухоочистителя и своевременно проводить техническое обслуживание кассет.

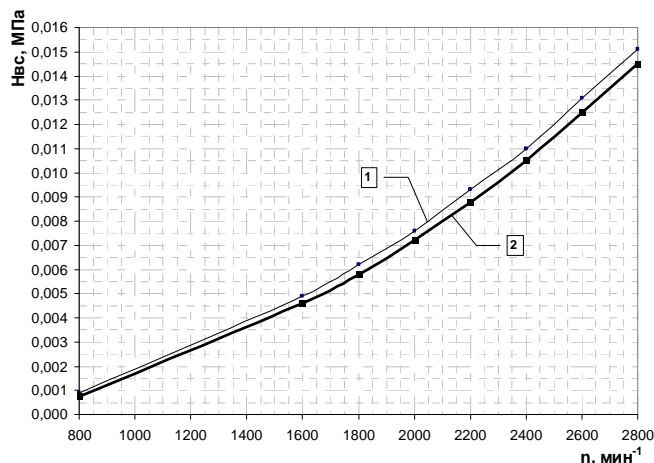


Рисунок 2 – Изменение сопротивления системы воздухопитания от частоты вращения коленвала двигателя
1 – режим «ПХ»; 2 – режим «БРОД»

Анализ результатов проведенных испытаний показал эффективность предложенной схемы воздухопитания двигателя, работоспособность и надежность всех элементов ОПВ, герметичность соединений. Кроме этого, сброс воздухопитающей и выхлопной труб осуществляется аналогично предшествующим конструкциям с сохранением их эксплуатационных свойств для многократного использования. В связи с тем, что верхний лист отсека АЗ расположен более чем на 200 мм выше верхней кромки штатной трубы ВЗУ в поднятом положении, танк БМ «ОПЛОТ» с отсеком АЗ преодолевает брод без подготовки глубиной 2 м. Таким образом, вышеописанная система воздухопитания двигателя при преодолении водных преград выдержала всесторонние испытания и может быть принята для оснащения танков с отсеком АЗ на корме башни.

Выводы. В результате теоретических расчетов, конструкторских разработок и экспериментальных исследований разработана схема питания двигателя воздухом при преодолении водных преград, обеспечивающая режим «БРОД» глубиной 2 м и режим «ПХ» глубиной 5 м для бронетанковой техники с установленным в кормовой части башни отсеком автомата зарядания.

Литература

1. Теория и конструкция танков. Том 4 – Москва, «Машиностроение», 1984.
2. Дизель 6ТД-2. Технические условия 459М.ТУ– Харьков, 1985.

Bibliography (transliterated)

1. Teorija i konstrukcija tankov. Tom 4 – Moskva, «Mashinostroenie», 1984.
2. Dizel' 6TD-2. Tehnicheskie uslovija 459M.TU– Har'kov, 1985.

УДК 629.1.032.1

Зарянов В.А., Иванов Ю.П., Климов В.Ф., Лазурко О.В., Магерамов Л.К.-А., Михайлов В.В.

ДО ПИТАННЯ ЖИВЛЕННЯ ПОВІТРЯМ ДВИГУНІВ БРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ПОДОЛАННІ ВОДНИХ ПЕРЕШКОД

У статті описано визначений на основі розрахунків та експериментальних досліджень метод живлення повітрям при подоланні водних перешкод двигуна бронетанкової техніки з розташованим на башті відсіком автомата зарядання.

Zaryanov W.A., Ivanov Yu. P., Klymov V.F., Lazurko O.V., Mageramov L.K.-A., Mikhailov V.V.

ON ENGINE AIR FEED FOR ARMORED VEHICLES IN NEGOTIATING WATER OBSTACLES

The air feed method found on the basis of calculations and experimental studies for engine in negotiating of water obstacles by armored vehicles with auto-loader compartment installed on the turret has been given in the article.

УДК 664.661.12.021.3

Білонога Ю.Л., Драчук У.Р.

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ЕКСТРАГУВАННЯ РОНІДАЗИ
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН (ПАР)**

В останні роки росте попит на новітні технологічні схеми, реалізація яких дозволяє отримувати якісні, цінні, природні засоби лікування, збільшення виходу таких продуктів при виробництві і введення ресурсозберігаючих процесів. Для раціонального використання сировинних і енергетичних ресурсів необхідно передбачати технологічні і режимні параметри різних процесів, які впливають на вартість готової продукції. При удосконаленні технологічних схем виробництва велика увага приділяється збереженню енергоресурсів, оскільки цей показник є важливим при формуванні ціни продукту.

Виробництво органопрепаратів базується на екстрагуванні відповідних субстанцій. Процес екстрагування органопрепаратів належить до дифузійних процесів, які проходять в системі тверде тіло-рідина. Швидкість проходження процесу у такій системі залежить від молекулярного переходу цільового компонента з поверхні твердого тіла в рідину (розчин екстрагенту), а саме процесу масовіддачі.

Перспективними методами інтенсифікації масообмінних процесів, які використовуються у сучасних технологічних схемах народного господарства, є зміни гідродинамічних показників розчинів екстрагентів. У роботах [1,2] такі задачі були вирішені при додаванні до промислових розчинів відповідних ПАР.

Ронідаза – білковий препарат із сім'яників статево-зрілих тварин ВРХ, який має гіалуранідазну активність. Ронідазу екстрагують 0,9 % розчином натрію хлориду, який містить 0,25 % хлороформу [3]. Для зменшення коефіцієнта поверхневого натягу та коефіцієнта динамічної в'язкості розчину, а також кута змочування розчином сировини, в екстрагент додавали пропанол і бутанол. Оптимальну кількість спиртів, які є ПАР до промислового розчину екстрагента, встановили експериментально, додаючи до 10мл екстрагенту від 0,1 до 1мл пропанолу, бутанолу. Коефіцієнт поверхневого натягу кожної суміші визначали методом Ребіндера. Мінімум коефіцієнта поверхневого натягу встановили при додаванні 0,5% бутанолу до промислового розчину (рис. 1).

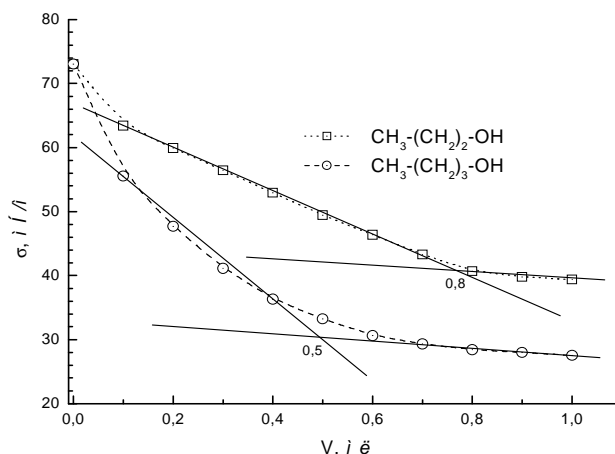


Рисунок 1 – Зміна коефіцієнта поверхневого натягу екстрагента при застосуванні в якості ПАР деяких одноатомних спиртів

Порахуємо середню товщину приповерхневого Л шару, що виникає навколо подрібненої частинки сім'яників (сировини) при екстрагуванні промисловим розчином (0,9 % розчин натрію хлориду з 0,25 % хлороформу) і запропонованим нами (промисловий розчин з 5 % бутанолу). Для розрахунку середньої товщини приповерхневого Л шару використаємо показники фізичних величин розчинів екстрагентів і сировини. Зміну таких величин показано у таблиці 1.

Середню товщину ламінарного Л шару за екстрагування промисловим розчином визначили за формулою, що запропонована у роботі [4]. Числові значення для розрахунку наведені у таблиці 1:

$$\delta = \frac{\sqrt{9,42 \cdot \cos \theta \cdot \sigma}}{K_{T(II)}^{II}} = 4,8, \text{ мм}, \quad (1)$$

де $K_{T(II)}^{II} = \frac{0,152(\psi \cdot Ar)^{0,715}}{2} = \frac{0,152(0,77 \cdot 181)^{0,715}}{2} = 2,593$ – коефіцієнт турбулізації для перехідного режиму осадження.

Таблиця 1 – Зміна фізико-хімічних характеристик розчинів екстрагентів

Характеристики	Промисловий розчин	Запропонований розчин
Густина сировини	$\rho_u = 1368 \text{ кг/м}^3$	$\rho_u = 1368 \text{ кг/м}^3$
Густина розчину (екстрагента)	$\rho_c = 980 \text{ кг/м}^3$	$\rho_c = 968 \text{ кг/м}^3$
Коефіцієнт поверхневого натягу	$\sigma = 0,07305 \text{ Н/м}$	$\sigma = 0,02843 \text{ Н/м}$
Коефіцієнт динамічної в'язкості	$\mu = 0,00194 \text{ Па} \cdot \text{с}$	$\mu = 0,00078 \text{ Па} \cdot \text{с}$
Коефіцієнт форми частинки	$\Psi = 0,77$	$\Psi = 0,77$
Гідрофільність частинки	$\cos \theta = 0,88$	$\cos \theta = 0,98$

За аналогічною методикою визначили середню товщину приповерхневого Л шару із запропонованим розчином з додаванням 0,5 % бутанолу до промислового екстрагента:

$$\delta = \frac{\sqrt{9,42 \cdot \cos \theta \cdot \sigma}}{K_{T(II)}^{II}} = 0,807, \text{ мм}. \quad (2)$$

Середні товщини приповерхневих Л шарів за екстрагування промисловим та запропонованим розчинами співвідносяться так: $\frac{\delta_n}{\delta_s} = \frac{4,8}{0,807} = 5,9$.

Важливим кроком виробництва ронідази є екстрагування її субстанції з подрібненої сировини (сім'яників забійних тварин). Цей процес потребує досить великих енерговитрат, тому що екстрагування проводиться за постійного перемішування. Для зменшення потужності перемішувачів можна провести екстрагування в умовах псевдозрідженого шару [5,6].

Екстрагування в умовах псевдозрідженого шару можна забезпечити при використанні відцентрового екстрактора [8]. Важливим параметром при застосуванні цього апарату є кутова швидкість обертання мацераційного бака екстрактора. В даному випадку це параметр оптимізації.

Розрахуємо оптимальну кутову швидкість обертання барабана відцентрового екстрактора за використання промислового розчину згідно методики [7].

1. Критерій оптимізації за відцентрового екстрагування:

$$B_{II} = 3,076 \sqrt{\frac{(\sigma \cdot \cos \theta)^3 \cdot \rho_c^2}{\mu^4 \cdot \omega^2 \cdot r(\rho_u - \rho_c)}} = 3,076 \sqrt{\frac{(0,07305 \cdot 0,88)^3 \cdot 980^2}{0,00194^4 \cdot \omega^2 \cdot 0,2(1368 - 980)}} = \frac{240}{\omega^{0,33}}. \quad (3)$$

2. Оптимальне значення критерію Рейнольдса:

$$\text{Re}_{\text{опт}} = 2 \cdot B_{II} = 2 \cdot \frac{240}{\omega^{0,33}} = \frac{480}{\omega^{0,33}}. \quad (4)$$

3. Модифікований критерій Архімеда:

$$Ar_m = \frac{\omega^2 \cdot r \cdot d^3 (\rho_q - \rho_c) \cdot \rho_c}{\mu^2} = \frac{\omega^2 \cdot 0,2 \cdot (10^{-3})^3 (1368 - 980) \cdot 980}{0,00194^2} = 20,2\omega^2. \quad (5)$$

4. Робоче значення критерію Рейнольдса:

$$Re_n = 0,152(\psi Ar_m)^{0,715} = 0,152(0,77 \cdot 20,2\omega^2)^{0,715} = 1,08\omega^{1,43}. \quad (6)$$

5. Оптимальна кутова швидкість обертання барабана відцентрового екстрактора:

$$1,08\omega^{1,43} = \frac{480}{\omega^{0,33}}, \omega = 31,9c^{-1}. \quad (7)$$

Оптимальна кутова швидкість обертання барабана відцентрового екстрактора із застосуванням запропонованого розчину з додаванням ПАР.

1. Критерій оптимізації:

$$B_{ц} = 3,076 \sqrt[6]{\frac{(\sigma \cdot \cos\theta)^3 \cdot \rho_c^2}{\mu^4 \cdot \omega^2 \cdot r (\rho_q - \rho_c)}} = 3,076 \sqrt[6]{\frac{(0,02843 \cdot 0,88)^3 \cdot 968^2}{0,00078^4 \cdot \omega^2 \cdot 0,2(1368 - 968)}} = \frac{470}{\omega^{0,33}}. \quad (8)$$

2. Оптимальне значення критерію Рейнольдса:

$$Re_{опт} = 2 \cdot B_{ц} = 2 \cdot \frac{470}{\omega^2} = \frac{940}{\omega^2}. \quad (9)$$

3. Критерій Архімеда модифікований:

$$Ar_m = \frac{\omega^2 \cdot r \cdot d^3 (\rho_q - \rho_c) \cdot \rho_c}{\mu^2} = \frac{\omega^2 \cdot 0,2 \cdot (10^{-3})^3 (1368 - 968) \cdot 968}{0,00078^2} = 127\omega^2. \quad (10)$$

4. Робоче значення критерію Рейнольдса:

$$Re_n = 0,152(\psi Ar_m)^{0,715} = 0,152(0,77 \cdot 127\omega^2)^{0,715} = 4\omega^{1,43}. \quad (11)$$

5. Оптимальна кутова швидкість обертання барабана відцентрового екстрактора:

$$4\omega^{1,43} = \frac{940}{\omega^{0,33}}, \omega = 22,5c^{-1}. \quad (12)$$

Порівняємо маси екстрактів, що виходять із частинок сировини за відцентрового екстрагування в умовах псевдозрідженого шару з базовим і запропонованим розчином. Для порівняння використаємо співвідношення [8]:

$$Re_n = 1,08 \cdot 31,9^{1,43} = 152, \quad Re_s = 4 \cdot 22,5^{1,43} = 343,$$

$$\frac{M_3}{M_{np}} = \frac{Re_3^{0,5} \cdot d^2}{Re_{np}^{0,5} \cdot d^2} \left(\frac{Re_3}{Re_{np}} \cdot 0,66 \right)^{0,66} = \frac{343^{0,5}}{152^{0,5}} \left(\frac{343}{152} \cdot 0,66 \right)^{0,66} = 1,9$$

Це означає, що запропонований нами розчин має майже у два рази кращі екстрагуючі властивості.

Значний вплив на гідродинаміку проходження дифузійного процесу в приповерхневій області окремої частинки сировини має величина середнього діаметра подрібнення сировини. За зменшення середнього діаметра подрібненої сировини зростає загальна площа фактичного контакту твердої частинки і екстрагента, що позитивно впливає на інтенсивність виходу екстракту (загальна площа фактичного контакту обернено пропорційна до величини середнього діаметра подрібненої сировини). З іншого боку, за збільшення величини середнього діаметра подрібненої сировини зростають критерії Рейнольдса, Архімеда і швидкість омивання екстрагентом поверхні кожної частинки. Цей факт сприяє інтенсифікації виходу екстракту в турбулізованій екстрагент [9] і дозволяє вирішити одну з головних задач оптимізації процесу екстрагування в системі тверде тіло рідина.

За дуже дрібного подрібнення сировини органічного походження утворюється маса порошкоподібної консистенції, а це може зашкодити рівномірному перемішуванню частинок сировини і екстрагента. Наслідком такого дрібного діаметра частинок сировини буде зменшення швидкості процесу [10].

Методику оптимізації процесу подрібнення сировини подано у роботі [9].

Визначаємо оптимальні параметри подрібнення сім'яників забійних тварин для максимальної інтенсивності процесу екстрагування ронідази за використання гравітаційного екстрактора. Фізичні характеристики промислового та запропонованого розчинів наведені в таблиці 1.

Екстрагування промисловим розчином.

1. Критерій оптимізації при гравітаційному екстрагуванні:

$$B = 3,076 \sqrt[6]{\frac{(\sigma \cdot \cos \theta)^3 \cdot \rho_c^2}{\mu^4 g (\rho_q - \rho_c)}} = 3,076 \sqrt[6]{\frac{(0,07305 \cdot 0,88)^3 \cdot 980^2}{0,00194^4 \cdot 9,8(1368 - 980)}} = 125. \quad (13)$$

2. Оптимальне значення критерію Рейнольдса : $Re_{opt} = 2 \cdot B = 250$.

3. Оптимальне значення критерію Архімеда для перехідного режиму осадження:

$$\psi Ar_{opt} = \left(\frac{Re_{opt}}{0,152} \right)^{1,4}, \quad Ar_{opt} = 41308. \quad (14)$$

4. Оптимальна товщина при поверхневого Л шару :

$$\delta_{opt} = \sqrt[3]{\frac{\mu^2}{g (\rho_q - \rho_c) \rho_c}} = \sqrt[3]{\frac{0,00194^2}{9,8(1368 - 980)980}} = 0,1, \text{ мм.} \quad (15)$$

5. Оптимальний діаметр подрібнення сім'яників:

$$\frac{d_{opt}}{d_{opt}} = \sqrt[3]{Ar_{opt}} = 34,56, \quad (16)$$

$$d_{opt} = 0,1 \cdot 34,56 = 3,44 \text{ мм.}$$

Екстрагування запропонованим розчином.

1. Критерій оптимізації при гравітаційній екстракції:

$$B = 3,076 \sqrt[6]{\frac{(\sigma \cdot \cos \theta)^3 \cdot \rho_c^2}{\mu^4 g (\rho_u - \rho_c)}} = 3,076 \sqrt[6]{\frac{(0,02483 \cdot 0,88)^3 \cdot 968^2}{0,00078^4 \cdot 9,8(1368 - 968)}} = 133. \quad (17)$$

2. Оптимальне значення критерію Рейнольдса: $Re_{onm} = 2 \cdot B = 266$.

3. Оптимальне значення критерію Архімеда для перехідного режиму осадження:

$$\psi Ar_{onm} = \left(\frac{Re_{onm}}{0,152} \right)^{1,4}, \quad Ar_{onm} = 45057. \quad (18)$$

4. Оптимальна товщина приповерхневого Л шару:

$$\delta_{onm} = \sqrt[3]{\frac{\mu^2}{g (\rho_u - \rho_c) \rho_c}} = \sqrt[3]{\frac{0,00078^2}{9,8(1368 - 968)968}} = 0,025 \text{ мм}. \quad (19)$$

5. Оптимальний діаметр подрібнення сім'яників:

$$\frac{d_{onm}}{d_{onm}} = \sqrt[3]{Ar_{onm}} = 35,58, \\ d_{onm} = 0,025 \cdot 35,58 = 0,88 \approx 1 \text{ мм}. \quad (20)$$

Порівняємо маси виходу екстрактів при застосуванні запропонованого і промислового розчинів та оптимізованих середніх параметрів подрібнення [8]:

$$\frac{M_3}{M_{np}} = \frac{Re_3^{0,5} \cdot d^2}{Re_{np}^{0,5} \cdot d^2} \left(\frac{Re_3}{Re_{np}} \cdot 0,66 \right)^{0,66} = \frac{343^{0,5} \cdot 3^2}{152^{0,5} \cdot 1^2} \left(\frac{343}{152} \cdot 0,66 \right)^{0,66} = 8,2. \quad (21)$$

Висновки

1. Застосування спирту бутанолу у відповідних концентраціях в промислових розчинах при екстрагуванні гепарину, хонсуриду сприяє інтенсифікації процесу в цілому.
2. Проведення процесу екстрагування ронідази у відцентровому екстракторі в умовах псевдозрідженого шару та застосування розчину екстрагенту з ПАР інтенсифікує процес майже у 2 рази.
3. Оптимізація параметрів подрібнення сировини для гравітаційного екстрагування дозволяє збільшити вхід маси екстракту майже у 8 разів.

Література

1. Білонога Ю.Л. Шляхи енергозбереження із використанням поверхнево-активних речовин (ПАР) при екстрагуванні гепарину у псевдозрідженому шарі /Драчук У.Р.// Інтегровані технології та енергозбереження. – 2009. – №2. – С. 8–12.
2. Білонога Ю.Л. Спосіб інтенсифікації процесу екстрагування хонсуриду із застосуванням поверхнево-активних речовин / Ю.Л. Білонога, Б.Р. Ціж, Ю.Ю. Варивода, У.Р. Драчук // Науковий вісник ЛНУВМ та БТ імені С.З. Гжицького. – 2008. – Т.10. №2. (37). – С.14–18.
3. Гуров В.А. Справочник по производству органолептических / Гуров В.А., Иноземцева М.А., Земеховский А.В. – М: Пищевая промышленность, 1970. – 209 с.
4. Білонога Ю.Л. Про доцільність розгляду гідродинамічних процесів з урахуванням сил поверхневого натягу на границі контакту тверде тіло–рідина// ІТЕ – 2006. № 2. – С.56–63.
5. Білонога Ю.Л. Деякі аспекти енергозбереження при виробництві інсуліну /Білонога Ю.Л., Білонога Д.М., Варивода Ю.Ю. // Науковий вісник ЛДАВМ імені С.З. Гжицького. – 2001. – Т.3. №4. Випуск 3. – С. 217–220

6. Білонога Ю.Л. Оптимальні параметри проходження дифузійних процесів при екстрагуванні хонсуриду / Ціж Б.Р., Варивода Ю.Ю., Драчук У.Р. // Науковий вісник ЛНУВМ та БТ імені С.З. Гжицького. - 2008. - Т.10. №4. (39). - С. 9-13.
7. Білонога Ю.Л., Кравців Р.Й. Оптимізація параметрів відцентрового екстрагування у псевдозрідженому шарі при виробництві органопрепаратів // Наукові праці ОНАХТ. - 2006. - Випуск № 28. - С. 174-181.
8. Білонога Ю.Л. Оптимізація параметрів подрібнення твердої сировини під час розчинення та екстракції в полі гравітаційних або відцентрових сил // Вісник НУ «Львівська політехніка» Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. - 2004. - № 481. - С. 104-116.
9. Білонога Ю.Л. Оптимальні параметри подрібнення сировини при виробництві інсуліну з використанням псевдозрідженого шару / Ю.Л. Білонога, Д.М. Білонога // Науковий вісник ЛДАВМ імені С.З.Гжицького. 2003. Т.5(№2), Ч.-1. С.115-118
10. Супрунов Н.И. Технология получения жидкого экстракта корней элеутрока колючого // Мед. Промышленность СССР. 1965. - №4. С. 35-37.

Bibliography (transliterated)

1. Bilonoga Ju.L. Shljahi energozberezhenja iz vikoristannjam poverhnevo-aktivnih rechovin (PAR) pri ekstraguvanni geparinu u psevdozridzhenomu shari Drachuk U.R. Integrovani tehnologii ta energozberezhenja. - 2009. - #2. - p. 8-12.
2. Bilonoga Ju.L. Sposib intensifikacii procesu ekstraguvannja honsuridu iz zastosuvannjam poverhnevo-aktivnih rechovin Ju.L. Bilonoga, B.R. Cizh, Ju.Ju. Varivoda, U.R. Drachuk Naukovij visnik LNUVM ta BT imeni S.Z. Gzhic'kogo. - 2008. - T.10. #2. (37). - p.14-18.
3. Gurov V.A. Spravochnik po proizvodstvu organopreparatov Gurov V.A., Inozemceva M.A., Zemihovskij A.V. - M: Pishhevaja promyshlennost', 1970. - 209 p.
4. Bilonoga Ju.L. Pro docil'nist' rozgljadu gidrodinamichnih procesiv z urahuvannjam sil poverhnevo natjagu na granici kontaktu tverde tiloridina ITE - 2006. # 2. - p.56-63.
5. Bilonoga Ju.L. Dejaki aspekti energozberezhenja pri virobniectvi insulinu Bilonoga Ju.L., Bi-lonoga D.M., Varivoda Ju.Ju. Naukovij visnik LDAVM imeni S.Z. Gzhic'kogo. - 2001. - T.3. #4. Vipusk 3. - p. 217-220
6. Bilonoga Ju.L. Optimal'ni parametri prohodzhennja difuzijnih procesiv pri ekstraguvanni honsuridu Cizh B.R., Varivoda Ju.Ju., Drachuk U.R. Naukovij visnik LNUVM ta BT imeni S.Z. Gzhic'kogo. - 2008. - T.10. #4. (39). - p. 9-13.
7. Bilonoga Ju.L., Kravciv R.J. Optimizacija parametrov vidcentrovogo ekstraguvannja u psevdozridzhenomu shari pri virobniectvi organopreparativ Naukovi pracj ONAHT. - 2006. - Vipusk # 28. - p. 174-181.
8. Bilonoga Ju.L. Optimizacija parametrov podribnennja tvrdoj sirovini pid chas rozchinennja ta ekstrakcii v poli gravitacijnih abo vidcentrovih sil Visnik NU «L'vivs'ka politehnika» Optimizacija virobnielih procesiv i tehnicnij kontrol' u mashinobuduvanni ta priladobuduvanni. - 2004. - # 481. - p. 104-116.
9. Bilonoga Ju.L. Optimal'ni parametri podribnennja sirovini pri virobniectvi insulinu z vikoristannjam psevdozridzhenogo sharu Ju.L. Bilonoga, D.M. Bilonoga Naukovij visnik LDAVM imeni S.Z.Gzhic'kogo. 2003. T.5(#2), Ch.-1. p.115-118
10. Suprunov N.I. Tehnologija poluchenija zhidkogo jekstrakta kornej jeleutroka koljuchoho Med. Promyshlennost' SSSR. 1965. - #4. p. 35-37.

УДК 664.661.12.021.3

Білонога Ю.Л., Драчук У.Р.

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ РОНИДАЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ (ПАВ)**

При производстве ронидазы предложено проводить процесс экстрагирования в псевдоожигеном слое. Интенсифицировать процессы экстрагирования можно введением в раствор экстрагентов (ПАВ) –

бутанола (одноатомного спирта). Оптимизировано основные параметры при центробежном экстрагировании, а также средний диаметр измельчения сырья (семенников).

Bilonoha Yu.L., Drachyuk U.R.

**THE ENHANCEMENT OF RONIDAZA EXTRACTION PROCESS WITH SURFACTANT
ADMIXTURE (SA)**

The use of fluidized bed technique for extraction process in Ronidaza production is proposed. The effect of process enhancement may be reached with surfactant admixture. The use of butanol as surfactant is proposed. The basic parameters including average diameter of raw material decomposed (testicles) were optimized.

УДК 623.942.2
623.592

Бондарь А.И., Гужва Ю.М., Дегтярь С.М., Магерамов Л.К.-А., Смоляков В.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ПРИ ОБУЧЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ

Введение

В последние годы во всем мире наметилась тенденция на широкое применение компьютерных средств обучения при подготовке личного состава сухопутных войск. Казенное предприятие «Харьковское конструкторское бюро по машиностроению им. А.А. Морозова», имея 15-летний опыт в разработке, производстве, поставке компьютерных средств обучения бронетранспортеров, БМП-2, танков Т-55, Т-72, Т-64, Т-80УД, "Аль-Халид" как в зарубежные страны, так и для нужд Вооруженных Сил Украины, является ведущим предприятием на Украине по созданию современных компьютерных средств обучения. Исходя из опыта создания и эксплуатации компьютерных средств обучения и в первую очередь комплексных тренажеров экипажа танка, целесообразно провести расчет экономической эффективности применения современных компьютерных тренажеров при обучении эксплуатации бронетанковой техники (далее – эффективности).

Цель работы

Целью работы является получение выражения для определения составляющих годового экономического эффекта, получаемого в результате применения современных компьютерных тренажеров при обучении эксплуатации бронетанковой техники.

Основная часть

При оценке эффективности внедрения тренажера сравниваются два варианта обучения: первый – традиционный, когда обучение экипажа происходит с применением плакатов, стендов, учебной техники, и второй – когда профессиональные навыки экипажи приобретают, используя в процессе обучения современный компьютерный тренажер, который моделирует объект управления, среду объекта управления и др.

При обучении экипажей боевых машин традиционным методом используются плакаты, учебные стенды, кинотренажеры, а после получения теоретических навыков - обучение непосредственно на боевой технике.

Во время отработки упражнений по вождению выполняются предусмотренные условиями упражнения нормативы с выставлением оценок, которые входят в общую оценку за выполнение упражнения.

При обучении по традиционному варианту на обучение одного экипажа (механик-водитель, наводчик, командир) расходуется три месяца календарного времени и 100 км пробега единицы учебной техники – учебного танка. Известно, что при традиционном методе обучения при использовании 8 учебных танков пропускная возможность учебного центра составляет 48 экипажей в год.

Подготовка и организация занятий по вождению включает:

- подготовку руководителя занятия;
- выбор и подготовку маршрута для вождения и учебных мест;
- определение необходимого количества машин для вождения, личного состава для оцепления, регулировки, технического и медицинского обеспечения занятий, подготовка личного состава и техники к проведению занятия

Для руководства стрельбой и ее обслуживанием, обеспечения выполнения мер безопасности во время стрельб назначаются:

- старший руководитель стрельб;
- руководитель стрельб на участке;
- начальник оцепления и подразделение для проведения оцепления;
- дежурный врач;
- начальник пункта боевого поставки;
- дежурный связист;
- артиллерийский техник;
- начальник метеопоста;

– начальник поста освещения (во время выполнения стрельб ночью с использованием осветительных ракет)

К выполнению упражнений на машинах допускаются курсанты только после усвоения приемов управления на тренажерах, изучения материальной части вооружения и боеприпасов, требований техники безопасности, основ и правил выполнения стрельб.

В конце обучения курсанты обязаны сдать экзамен на присвоение квалификации механика-водителя 3-го класса.

В связи с несовершенством существующих учебных средств, т.к. кинотренажеры, имеющиеся в учебных центрах, были произведены в 80-х годах XX века морально устарели, а в большинстве случаев находятся в не рабочем состоянии, в настоящее время методы подготовки имеют акцент в обучении непосредственно на боевой технике. Безусловно обучение непосредственно на боевой технике есть лучшим способом, однако оно сопряжено с значительными финансовыми затратами, риском для личного состава и является источником загрязнения окружающей среды.

При обучении экипажей боевых машин методом с использованием современных компьютерных тренажеров в процессе подготовки боевой техники, использование в процессе обучения боевой техники, а также личного состава, занятого для сопровождения стрельб значительно сокращается.

Современные компьютерные тренажеры позволяют привить обучаемым навыки работы с приборами и органами управления на рабочих местах механика-водителя, наводчика и командира, до автоматизма отработать действия при штатных и нештатных ситуациях, позволяют наиболее полно симитировать обстановку а также зрительные и тактильные воздействия на обучаемого. После обучения на тренажерах курсанты сдают экзамен на боевых машинах.

Расчет годовых эксплуатационных затрат по традиционному методу обучения

Полный пробег танка до капитального ремонта в зависимости от типа танка в среднем составляет 12000 км. Учитывая, что учебные танки подвержены повышенному износу по причине неправильных действий обучаемых, примем, что пробег учебного танка до капитального ремонта в среднем в два раза меньше пробега до капитального ремонта обычного танка и составляет 6000 км.

Затраты на один капитальный ремонт танка в среднем составляют 40 % его первоначальной стоимости.

Общий учебный пробег 8-ми учебных танков за год для обучения 48 экипажей с учетом пробега для одного экипажа равного 100 км, составляет 4800 км, при этом пробег одного учебного танка за год составляет 600 км.

Среднее количество капитальных ремонтов учебного танка за год определяется как отношение пробега одного учебного танка за год и его до капитального ремонта, что составляет 0,1 для одного учебного танка и соответственно 0,8 для восьми учебных танков.

Тогда среднегодовые затраты на капитальные ремонты 8-ми учебных танков составляют:

$$Z_{\text{КР}} = 0,8 \cdot 0,4 \cdot C_T \text{ или } Z_{\text{КР}} = 0,32 \cdot C_T, \quad (1)$$

где C_T – стоимость учебного танка; 0,8 – среднее количество капитальных ремонтов 8-ми учебных танков за год; 0,4 – коэффициент стоимости одного капитального ремонта одного учебного танка от его первоначальной цены.

Учитывая, что по традиционному методу необходимо как минимум 8 инструкторов, имеем фонд оплаты работы учебного персонала:

$$\Phi_1 = 8 \cdot \Phi, \quad (2)$$

где 8 – количество инструкторов; Φ – фонд оплаты труда одного инструктора.

Затраты, связанные с износом для одного учебного танка составляют 25 % от его первоначальной стоимости, т.е. для восьми учебных танков годовые затраты износа:

$$Z_{\text{ИЗ}} = 8 \cdot 0,25 \cdot C_T \text{ или } Z_{\text{ИЗ}} = 2 \cdot C_T, \quad (3)$$

где 0,25 – годовой износ одного учебного танка.

Стоимость потребляемой электроэнергии для обучения 48 экипажей при обучении традиционным методом принимаем равной нулю, т.к. потребители электроэнергии (тренажер) отсутствуют.

Затраты на текущий и профилактический ремонты (исходя из опыта эксплуатации) принимаются равными 1 % от стоимости каждого учебного танка:

$$Z_{\text{ПР}} = 0,08 \cdot C_T, \quad (4)$$

где 0,08 – коэффициент текущих и профилактических ремонтов для 8-ми учебных танков.

Затраты на горюче-смазочные материалы и на затратные материалы для 8 учебных танков:

$$Z_{\text{ГСМ}} = 1,3 \cdot d_1 \cdot M_P \cdot (e_M \cdot u_M + e_T \cdot u_T) \div 100, \quad (5)$$

где d_1 – пробег учебного танка для обучения одного экипажа; M_P – годовая пропускная возможность учебного центра; e_M, e_T, u_M, u_T – расход на 100 км и цена 1-го литра масла и топлива соответственно; 1,3 – коэффициент затрат на другие затратные материалы.

Стоимость боеприпасов, которые расходуются при обучении 48 экипажей:

$$Z_{\text{Б}} = M_P \cdot (P_{\text{БР}} \cdot u_{\text{БР}} + P_{\text{Ф}} \cdot u_{\text{Ф}} + P_{\text{К}} \cdot u_{\text{К}} + P_{\text{П}} \cdot u_{\text{П}} + P_{\text{Р}} \cdot u_{\text{Р}}), \quad (6)$$

где $P_{\text{БР}}, P_{\text{Ф}}, P_{\text{К}}, P_{\text{П}}, P_{\text{Р}}, u_{\text{БР}}, u_{\text{Ф}}, u_{\text{К}}, u_{\text{П}}, u_{\text{Р}}$ – количество выстрелов и цена соответствующего типа боеприпаса.

Всего годовые затраты при обычном методе обучения составляют:

$$Z_1 = Z_{\text{КР}} + \Phi_1 + Z_{\text{ИЗ}} + Z_{\text{ПР}} + Z_{\text{Б}} + Z_{\text{ГСМ}}. \quad (7)$$

Для расчета годовых эксплуатационных затрат по методу обучения с использованием тренажера имеем следующие исходные данные:

C_T – стоимость учебного танка;

$C_{\text{ТР}}$ – цена тренажера.

Для метода с использованием тренажера пробег учебного танка для обучения одного экипажа пропорционально составляет в среднем 16,6 км. Общий учебный пробег учебных танков за год для 48 экипажей составляет 800 км.

Количество учебных танков, необходимых для обучения 48 экипажей с учетом календарного времени и количества обучаемых экипажей составляет 2 танка, при этом пробег каждого учебного танка составляет 400 км в год.

Среднее количество капитальных ремонтов одного учебного танка за год с учетом его общего пробега и пробега до капитального ремонта составляет 0,067 ремонтов, а двух учебных танков соответственно 0,134.

Среднегодовые затраты на капитальные ремонты для двух учебных танков при периодичности капитальных ремонтов составляют:

$$Z_{\text{КР2Т}} = 0,0536 \cdot C_T, \quad (8)$$

где 0,0536 – коэффициент капитальных ремонтов.

Среднегодовые затраты на один капитальный ремонт тренажера при периодичности капитального ремонта – 1 раз в 5 лет, составляют:

$$Z_{\text{КРТР}} = 0,4 \cdot C_{\text{ТР}} \div 5 \quad \text{или} \quad Z_{\text{КРТР}} = 0,08 \cdot C_{\text{ТР}}. \quad (9)$$

Среднегодовые затраты на капитальный ремонт двух учебных танков и тренажера составят:

$$Z_{2KP} = Z_{KP2T} + Z_{KPTR} \quad \text{или} \quad Z_{2KP} = 0,0536 \cdot C_T + 0,08 \cdot C_{TP}. \quad (10)$$

Фонд оплаты труда при методе обучения с применением тренажера:

$$\Phi_2 = 3 \cdot \Phi, \quad (11)$$

где 3 – количество сотрудников учебного персонала.

Годовые затраты, связанные с износом двух учебных танков и одного тренажера определяются исходя из того, что годовой коэффициент износа одного учебного танка – 25 % от его первоначальной стоимости, а годовой коэффициент износа тренажера – 24 % от его первоначальной стоимости:

$$Z_{2ИЗ} = 0,24 \cdot C_{TP} + 0,5 \cdot C_T. \quad (12)$$

Стоимость электроэнергии, потребляемой тренажером за год эксплуатации составляет около 0,3 % от стоимости тренажера, а от стоимости танка соответственно 0,06 %, поэтому существенного влияния на увеличение затрат на обучение при применении тренажера не оказывает.

Затраты на текущий и профилактический ремонт исходя из опыта эксплуатации принимаются равными 1 % от стоимости тренажера и учебного танка соответственно:

$$Z_{2ПР} = 0,01 \cdot C_{TP} + 0,02 \cdot C_T. \quad (13)$$

Затраты на горюче-смазочные материалы и на затратные материалы:

$$Z_{2ГСМ} = 1,3 \cdot d_2 \cdot M_P (e_M \cdot u_M + e_T \cdot u_T) \div 100, \quad (14)$$

где d_2 – пробег учебного танка для обучения одного экипажа.

Стоимость боеприпасов, которые расходуются при обучении 48 экипажей:

$$Z_{2Б} = M_P \cdot (P_{2БР} \cdot u_{БР} + P_{2Ф} \cdot u_{Ф} + P_{2К} \cdot u_{К} + P_{2П} \cdot u_{П} + P_{2Р} \cdot u_{Р}), \quad (15)$$

где $P_{2БР}$, $P_{2Ф}$, $P_{2К}$, $P_{2П}$, $P_{2Р}$, $u_{БР}$, $u_{Ф}$, $u_{К}$, $u_{П}$, $u_{Р}$ – количество выстрелов и цена соответствующего типа боеприпаса.

Всего годовые эксплуатационные затраты по методу обучения с применением тренажера и сдачей нормативов на двух учебных танках при обучении 48 экипажей за год составляют:

$$Z_2 = Z_{2KP} + \Phi_2 + Z_{2ИЗ} + Z_{2ПР} + Z_{2Б} + Z_{2ГСМ}. \quad (16)$$

В данном случае для оценки эффективности используется традиционная методика определения годового экономического эффекта:

$$\mathcal{E} = Z_1 - Z_2, \quad (17)$$

где Z_1 и Z_2 – соответственно годовые эксплуатационные затраты по традиционному методу (без использования тренажера) и методу обучения с использованием тренажера.

Учитывая численные данные о количестве боеприпасов, используемых при обоих методах обучения: $P_{1БР}=12$ шт., $P_{1Ф}=16$ шт., $P_{1К}=42$ шт., $P_{1П}=370$ шт., $P_{1Р}=2$ шт., $P_{2БР}=2$ шт., $P_{2Ф}=3$ шт., $P_{2К}=7$ шт., $P_{2П}=62$ шт., $P_{2Р}=1$ шт. и то, что стоимость тренажера экипажа составляет в среднем 20% стоимости нового танка, проведя необходимые вычисления, получаем окончательное выражение для определения годового экономического эффекта:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & 1,7604 \cdot C_T + 5 \cdot \Phi + 52,04 \cdot (\epsilon_M \cdot u_M + \epsilon_T \cdot u_T) + \\ & + 480 \cdot u_{BP} + 624 \cdot u_\Phi + 1680 \cdot u_K + 14784 \cdot u_\Pi + 48 \cdot u_P. \end{aligned} \quad (18)$$

Годовой экономический эффект применения в обучении личного состава одного тренажера экипажа танка Т-64Б(БВ) составил 40,9 млн.грн.

Выводы

Проведенный расчет годового экономического эффекта показывает, что при применении в обучении личного состава бронетанковых войск современных компьютерных тренажеров уже после первого года эксплуатации получаем экономию в расчете эксплуатации одного тренажера экипажа танка:

- более 176% первоначальной стоимости учебного танка;
- сокращение фонда оплаты инструкторов на 5 человек;
- сокращение расходов на горюче-смазочные материалы в 6 раз;
- сокращение расходов на боеприпасы:
 - на бронебойные снаряды: на 480 снарядов или в 6 раз;
 - на осколочно-фугасные снаряды: на 624 снаряда или более чем в 5 раз;
 - на кумулятивные снаряды: на 1680 снарядов или в 6 раз;
 - на патроны: 14784 патронов или в 6 раз;
 - на управляемые ракеты: на 48 управляемых ракет или в 2 раза.

Литература

1. Курс стрільб зі стрілецької зброї і бойових машин Сухопутних військ (КС СЗ і БМ СВ-2004) Київ, 2004.– 264 с.
2. Курс водіння бойових машин Сухопутних військ (КВБМ СВ-99) Київ: Варта, 1999.– 270 с.
3. Бойовий статут Сухопутних військ. Частина 3.Взвод, відділення, танк. Київ: Варта, 1995.– 235 с.
4. Збірник операційних карт по виконанню нормативів з технічної підготовки для механізованих, танкових і розвідувальних підрозділів. Київ, 2002.– 262 с.
5. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник. Под редакцией К.М. Великанова.– Ленинград: Машиностроение, 1975.– 430 с.

Bibliography (transliterated)

1. Kurs stril'b zi strilec'koї zbroї i bojovih mashin Suhoputnih vijs'k (KS SZ i BM SV-2004) Kiiv, 2004.– 264 p.
2. Kurs vodinnja bojovih mashin Suhoputnih vijs'k (KVBM SV-99) Kiiv: Varta, 1999.– 270 p.
3. Bojovij statut Suhoputnih vijs'k. Chastina 3.Vzvod, viddilennja, tank. Kiiv: Varta, 1995.–235 p.
4. Zbirnik operacijnih kart po vikonannju normativiv z tehnicnoї pidgotovki dlja mehanizovanih, tankovih i rozvidual'nih pidrozdiliv. Kiiv, 2002.– 262 p.
5. Raschety jekonomicheskoy jeffektivnosti novoj tehnik: Spravochnik. Pod redakciej K.M. Velikanova.– Leningrad: Mashinostroenie, 1975.– 430 p.

УДК 623.942.2
623.592

Бондар О.І., Гужва Ю.М., Дегтяр С.М., Магерамов Л.К.-А., Смоляков В.А.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ТРЕНАЖЕРІВ ПРИ НАВЧАННІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ

У статті проведено визначення складових річного економічного ефекту застосування сучасних комп'ютерних тренажерів при навчанні експлуатації бронетанкової техніки, вплив кожного з них на число значення річного економічного ефекту, отримано математичне вираження розрахунку річного економічного ефекту.

Bondar A.I., Guzhva Y.M., Degtyar S.M., Mageramov L.K.-A., Smolyakov V.A.

DETERMINATION TO COST-PERFORMANCE OF THE USING MODERN COMPUTER SIMULATOR UNDER TRAINING USAGES OF THE ARMORED TECHNOLOGY

In article components of annual economic benefit of application of modern computer training apparatus are defined at training of operation of armored technics, influence of each of them on numerical value of annual economic benefit, mathematical expression of calculation of annual economic benefit is received.