

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Ульєв Л. М., Нечипоренко Д. Д.

Теплоенергетическая интеграция блока гидроочистки сырья установки Л-35-11/600	3
<i>Арсеньєва О. П., Бабак Т. Г., Демирский А. В., Хавин Г. Л.</i>	
Проектирование пластинчатого теплообменника при ограничениях на его стоимость	8
<i>Єрмоленко І. Ю., Ведь М. В., Сахненко М. Д., Богоявленська О. В.</i>	
Енергозаощаджувальний рециклінг псевдосплавів вольфраму	12
<i>Ульєв Л. М., Мельниковская Л. А.</i>	
Определение полезной нагрузки трубчатых печей с помощью учета тепловых потерь в системе теплообмена на установке первичной переработки нефти АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока	15

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Александрова Т. Е., Александрова И. Е., Лазаренко А. А.

Расчет параметров автоколебаний давления рабочей жидкости в гидросистеме стабилизатора канала вертикального наведения танковой пушки	24
<i>Анипко О. Б., Бирюков И. Ю., Бусяк Ю. М.</i>	
Звуковые портреты объектов бронетехники для обнаружения и распознавания целей	31
<i>Товажнянский Л. Л., Арсеньєва О. П., Капустенко П. А., Хавин Г. Л.</i>	
Моделирование и технико-экономическая оптимизация теплообменных систем	37
<i>Семеней А. Р., Тарасов А. И., Братута Э. Г.</i>	
Модель термодинамических процессов в теплогенераторе пиролизного типа	44
<i>Моргунов В. В., Шкилько А. М.</i>	
Численное моделирование физико-химических процессов, происходящих при электронно-лучевой очистке дымовых газов	48
<i>Сахненко М. Д., Шевченко Р. О.</i>	
Електрокінетичні явища при бурінні та експлуатації нафтогазових свердловин	51

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Товажнянский Л. Л., Капустенко П. А., Перевертайленко А. Ю., Бухкало С. И., Арсеньєва О. П.

Анализ теплообменных систем установок газификации нефтеперерабатывающих производств	54
<i>Рассоха А. Н., Черкашина А. Н.</i>	
Структурные и структурно-реологические свойства дисперсных наполнителей	

фурано-эпоксидных композитов <i>Шерстюк А. В., Харлампиди Д. Х., Братута Э. Г.</i>	63
Термодинамическое тестирование сверхкритических циклов холодильных машин и тепловых насосов <i>Некрасов П. О., Подлісна О. В.</i>	68
Оптимізація параметрів процесу ферментативного ацидолізу жирів <i>Дзевочко А. М., Литвиненко Е. И.</i>	73
Система автоматизированного управления процессом получения инвертного сиропа <i>Бабиченко А. К., Тошинский В. И.</i>	78
Оптимизация и аппаратурно-технологическое оформление процесса первичной конденсации агрегатов синтеза аммиака	82

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

<i>Анипко О. Б., Бусяк Ю. М., Баулин Д. С., Цебрюк И. В.</i> Анализ приоритетов и прогнозирование тенденций танкостроения	88
--	----

Ульєв Л.М., Нечипоренко Д.Д.

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ БЛОКА ГИДРООЧИСТКИ СЫРЬЯ УСТАНОВКИ Л-35-11/600

Введение

Украина относится к странам, лишь частично обеспеченным традиционными видами первичных энергоресурсов. Энергетическая зависимость страны от поставок органического топлива составляет около 65 %, в то время как в странах ЕС этот показатель равен в среднем 51 %. Уровню энергозависимости Украины примерно соответствуют такие развитые страны Европы, как Германия – 61,4 % и Австрия – 64,7 %.

На протяжении 2005 года цены на нефть на мировом рынке испытывали значительные колебания, в основном в сторону повышения. За 2005 год экспортная цена нефти выросла почти на 36 % (с 295 до 400 долл. за тонну). Цены на российскую нефть, поступающую на переработку в Украину, выросли за этот период почти на 70 % [1].

Новая стратегия развития энергетики, разработанная на период до 2030 года, состоит в уменьшении доли потребления газа и нефтепродуктов на электростанциях и приоритетном развитии угольной и атомной энергетики. Важная роль в этом документе отведена развитию гидроэнергетики, использованию альтернативных источников энергии и шахтного метана, который, по приблизительным расчётам, в шахтах Донбасса имеется в количествах 12 триллионов м³, но на данный момент просто расточительно выкидывается в атмосферу. Неотъемлемой частью новой концепции также является внедрение энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий. Последние будут внедряться на ТЭС путём замены старого, почти полностью изношенного оборудования, оставшегося с советских времён.

На первоначальном этапе разработки методологии создания ресурсосберегающих химико-технологических систем были предложены методы синтеза рекуперативных тепловых систем. Одним из наиболее известных методов синтеза оптимальных рекуперативных тепловых систем является пинч-метод с использованием составных тепловых кривых.

Литературные данные, опубликованные в различных источниках, говорят о том, что при использовании методов пинч-анализа, можно сократить энергопотребление на предприятия практически в 2 раза [2].

Ранее, в работе [3], было начато решение проблемы по энергосбережению на блоке гидроочистки сырья установки Л-35-11/600. Были выявлены недостатки существующей теплообменной системы, которые приводят к увеличению энергопотребления. Определено оптимальное значение минимальной разности температур между теплоносителями на теплообменном оборудовании процесса [4] $\Delta T_{\min} = 8$ °С. Построение составных кривых для существующего процесса и оптимального значения ΔT_{\min} показывает, что энергосберегающий потенциал процесса равен 2,39 МВт, что составляет 48 % от существующей в настоящее время мощности холодных утилит и 42 % от мощности горячих утилит. Соответственно мощность рекуперации тепловой энергии увеличится с 12,21 МВт до 14,2 МВт.

Теплоэнергетическая интеграция.

В работе [3] была получена сеточная диаграмма блока гидроочистки сырья существующего процесса (рис. 1) и определены технологические потоки доступные для теплоэнергетической интеграции. Найдены технологические данные этих потоков, которые представлены в потоковой таблице 1.

Для того чтобы синтезировать интегрированную систему теплообмена рассматриваемых процессов построим сеточную диаграмму технологических потоков с указанием локализации пинча [6].

На рисунке 2 представлена сеточная диаграмма для проекта реконструкции теплообменной сети. Тепловая интеграция выполняется для двух энергетически независимых подсистем ниже и выше пинча [7]. В подсхеме выше пинча холодные потоки находятся в тепловом балансе с горячими потоками и горячими утилитами. Аналогично, в системе ниже точки пинча горячие потоки находятся в тепловом балансе с холодными потоками и холодными утилитами.

Для выполнения теплового баланса выше и ниже точки пинча, который соответствует составным кривым, горячие потоки должны быть приведены к целевой температуре за счёт теплообмена с холодными потоками. Для того, чтобы довести горячий поток №1 (нестабильный гидрогенизат из Р-1) до целевой температуры, потребуется три теплообменных аппарата. Кожухотрубчатый теплообменник Т-1/1 оставляем без изменений, а два последующих теплообменника заменяем на паяные пластинчатые теплообменные аппараты, где в теплообменнике Т-1/2 охлаждение происходит за счёт потока №8 (горячая струя К-1), а в теплообменнике Т-1/3 за счёт потока №5 (сырьё гидроочистки). Такая расстановка теплообменных аппаратов позволяет исключить из схемы холодильники ХВО-101/1,2 и ХВО-201/1,2, распо-

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ложенные после теплообменных аппаратов, которые раньше использовались для доведения потока №1 до целевой температуры.

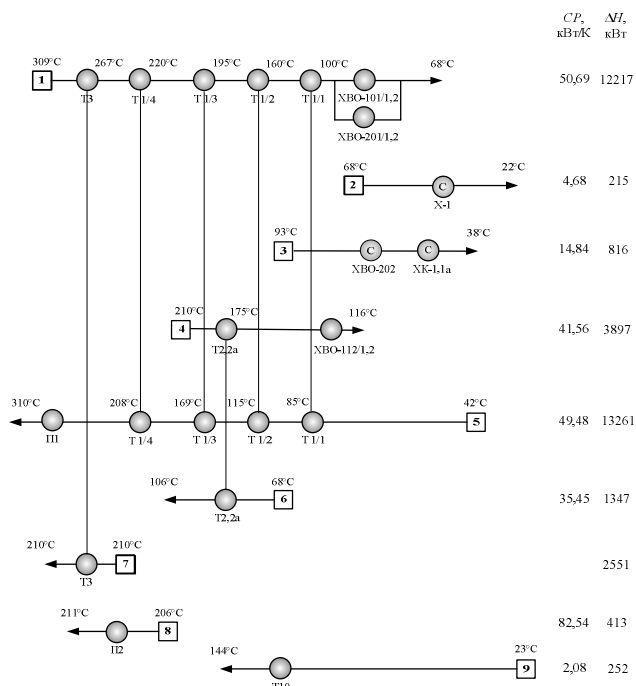


Рисунок 1 – Существующая в настоящее время система теплообмена блока гидроочистки сырья установки Л-35-11/600

1–4 – горячие потоки; 5–9 – холодные потоки; CP – потоковая теплоемкость; ΔH – тепловые нагрузки для каждого потока

Таблица 1 – Система потоков для анализа энергопотребления блока гидроочистки сырья установки Л-35-11/600

	Название потока	тип	T_s , °C	T_T , °C	G , т/ч	r , кДж/кг	CP , кВт/К	ΔH , кВт	α , кВт/($m^2 \cdot K$)
1	Нестабильный гидрогенизат из Р-1	гор	309	250	56,224		59,33	3500,71	0,28
			250	200	56,224		54,11	2705,48	0,28
			200	150	56,224		49,43	2471,50	0,28
			150	100	56,224		44,67	2233,36	0,28
			100	68	56,224		40,81	1305,85	0,28
2	Газ из С-1	гор	68	22	6,684		4,68	215,22	0,06
3.1	Охлаждение паров К-1	гор	93	50	13,91		9,74	418,69	0,02
3.2	Конденсация паров К-1	гор	50	50	13,91	75		289,79	1
3.3	Охлаждение конденсата пара К-1	гор	50	38	13,91		8,97	107,66	0,4
4	Стабильный гидрогенизат из К-1	гор	210	150	46,771		44,26	2655,43	0,1
			150	116	46,771		36,51	1241,26	0,1
5	Сырье гидроочистки	хол	42	100	56,224		39,58	2295,46	0,28
			100	150	56,224		44,65	2232,61	0,28
			150	200	56,224		49,40	2470,09	0,28
			200	250	56,224		54,07	2703,41	0,28
			250	310	56,224		59,33	3559,59	0,28
6	Загрузка К-1	хол	68	106	49,95		35,45	1346,93	0,1
7	Ребойлер К-1	хол	210	210	34,018	75		2551,37	0,12
8	Горячая струя К-1	хол	206	211	81,697		82,54	412,68	0,6
9	Газ к печам	хол	23	144	2,9764		2,08	252,10	0,06

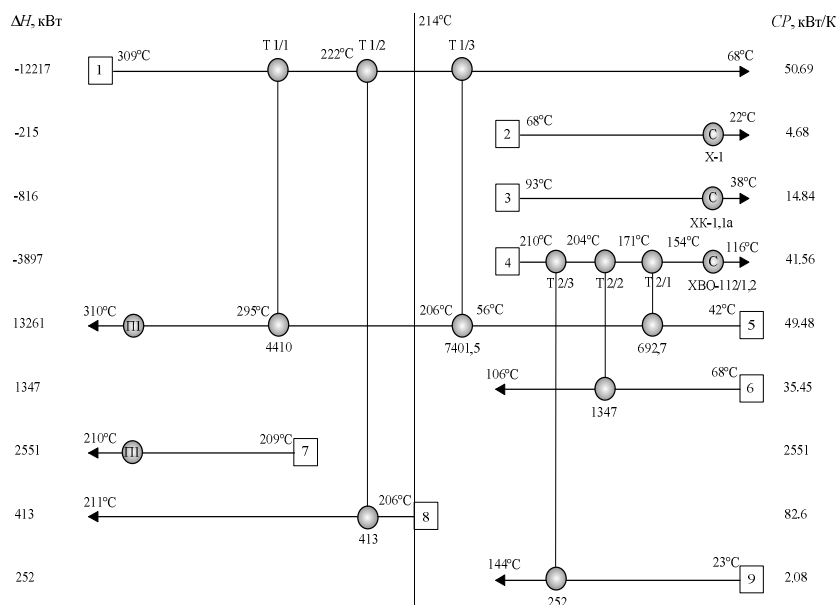


Рисунок 2 – Сеточная диаграмма предлагаемой сети теплообмена блока гидроочистки сырья установки Л-35-11/600

1 – 4 – горячие потоки; 5 – 9 – холодные потоки; CP – потоковая теплоемкость;
 H – тепловые нагрузки для каждого потока

Для доведения до целевой температуры горячего потока №4 (стабильный гидрогенизат из К-1) вместо теплообменников Т-2, Т-2а используем кожухотрубчатые теплообменные аппараты Т-2/3 (охлаждение за счёт потока №9), Т-2/2 (охлаждение за счёт потока №6) и Т-2/1 (охлаждение за счёт потока №5).

Также исключаем из схемы одну из печей П-2, в которой ранее догревался до целевой температуры поток №8 (горячая струя К-1), теперь этот поток догревается за счёт потока №1.

Краткие характеристики рекуперативных теплообменных аппаратов для системы теплообмена представлены в таблице 2. Утилитный теплообмен в разработанной теплообменной системе осуществляется в существующих аппаратах. Потребление горячих утилит составляет 3,3 МВт, а холодных – 2,6 МВт.

Таблица 2 – Основные технические характеристики теплообменных аппаратов

№	Горячий поток		Холодный поток			Количество, шт	Q , кВт	S , м ²
	№	$T_{вх}$	$T_{вых}$	№	$T_{вх}$			
Т-1/2	1	222	214	8	206	211	413	41,9
Т-1/3	1	214	68	5	56	206	7401,5	329,5

Благодаря расчету точки пинча и построению диаграммы составных кривых существующего процесса и интегрированного процесса, можно создать проект реконструкции блока гидроочистки сырья технологической схемы установки Энерготехнологическая схема блока гидроочистки сырья технологической схемы установки Л-35-11/600 после реконструкции представлена на рисунке 3.

Наглядно рассмотреть энергопотенциал реконструированной энерготехнологической схемы и возможную экономию энергии можно с помощью таблицы 3.

Общая сумма капитальных затрат на проект составляет 270285 долл. США/год, срок окупаемости данного проекта составляет приблизительно 7 месяцев.

Заключение

В результате применения пинч-методов получена новая система теплообмена и представлена работоспособная, экономически выгодная энерготехнологическая схема блока гидроочистки сырья технологической схемы установки Л-35-11/600. Получена сравнительная характеристика существующего процесса гидроочистки сырья и интегрированного процесса. Внедрение данной реконструированной схемы позволит снизить удельное энергопотребление горячих утилит на 2383 кВт, а холодных – на 2615 кВт, что составляет 48 % по горячим утилитами и 52 % по холодным утилитами. Показано, что экономический по-

тенциал энергосбережения, доступный после интеграции процесса, равен 703528 долл. США. Срок окупаемости предложенного проекта реконструкции составляет приблизительно 7 месяцев.

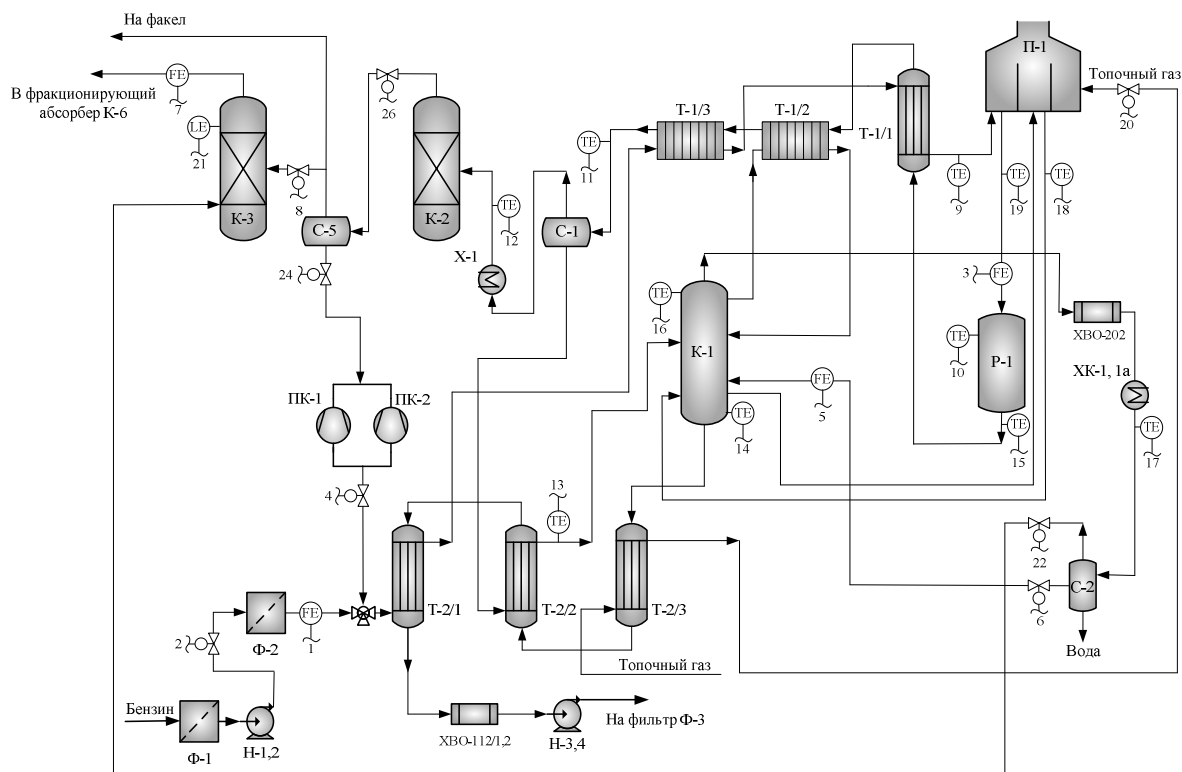


Рисунок 3 – Блок гидроочистки сырья технологической схемы установки Л-35-11/600 для тепловой интеграции. К-1 – отпарная колонна; К-2 – абсорбер очистки циркулирующего газа гидроочистки; К-3 – абсорбер очистки углеводородного газа; Н – насосы П-1 – печь риформинга и гидроочистки; ПК – компрессоры; Р-1 – реактор гидроочистки; С – сепараторы; Т-1/1, Т-2/1 – Т-2/3 – кожухотрубчатые теплообменники; Т-1/2 – Т-1/3 – пластинчатые теплообменники; Х – кожухотрубчатые холодильники ХВО – холодильники воздушного охлаждения; ХК – кожухотрубчатые конденсаторы; Ф – фильтры, Е – емкости

Таблица 3 – Энергопотребление и рекуперация системы теплообмена, которая существует, и системы теплообмена в проекте, которая предлагается

	ΔT_{\min}	Горячие утилиты, МВт	Холодные утилиты, МВт	Рекуперация, МВт	Затраты на энергию, долл.США/год
Существующий процесс	55	5,68	4,99	12,21	1659833
Интегрированный процесс	8	3,3	2,6	14,2	956305
Экономия		2,38	2,39	1,99	703528

Литература

1. Блеск и нищета энергосбережения в Украине [Электронный ресурс] / В. Степаненко // Официальный сайт научно-экспертного совета при рабочей группе Совета Федерации по мониторингу практики применения Федерального закона от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и подготовке предложений по совершенствованию законодательства в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности – 2011. – Режим доступа: www.energy2020.ru.
2. Товажнянский Л.Л. Интеграция теплоэнергетических процессов в промышленности / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, К.П. Кусаков // Проблемы экологии и эксплуатации объектов

енергетики. XIII конференция стран СНГ с международным участием. Труды конференции. Севастополь. 14–18 июля 2003 г. Киев. – 2003. – с. 116–120.

3. Ульянов Л.М., Нечипоренко Д.Д. Энергосберегающий потенциал процесса гидроочистки на установке каталитического риформинга / Л.М. Ульянов, Д.Д. Нечипоренко // Интегровані технології та енергозбереження. – 2011, – №2. – С. 20–28.

4. Основы интеграции тепловых процессов / [Р. Смит, Й. Клемеш, Л. Л. Товажнянский, П. А. Капустенко, Л. М. Ульянов]. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 457 с.

5. Мешалкин В.П. Основы энергоресурсоэффективных экологически безопасных технологий нефтепереработки / Мешалкин В.П., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – 616 с.

6. Nordman R. New process integration methods for heat – saving retrofit projects in industrial systems. Thesis for the degree of doctor of philosophy. Chalmers University of Technology / Roger Nordman. – Goteborg, Sweden, – 2005. – 77 p.

7. Интеграция тепловых процессов на установке первичной переработки нефти АВТ А12/2 при работе в зимнее время / Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульянов [и др.] // Теорет. основы хим. технологии. – 2009. –Т. 43, –№6. –С. 665–676.

Bibliography (transliterated)

1. Blesk i nishheta jenergosberezhennija v Ukraine [Jelektronnyj resurs] V. Stepanenko Oficial'nyj sajt nauchno-jekspertnogo soveta pri rabochej gruppe Soveta Federacii po monitoringu praktiki primenenija Federal'nogo zakona ot 23 nojabrja 2009 goda # 261-FZ «Ob jenergosberezhennii i o povyshe-nii jenergeticheskoj jefektivnosti i o vnesenii izmenenij v otдел'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii» i podgotovke predlozhenij po sovershenstvovaniju zakonodatel'stva v oblasti jenergo-sberezhennija i povyshenija jenergeticheskoj jefektivnosti – 2011. – Rezhim dostupa: www.energy2020.ru.

2. Tovazhnjanskij L.L. Integracija teplojenergeticheskikh processov v promyshlennosti L.L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, L.M. Ul'ev, K.P. Kusakov Problemy jekologii i jekspluatacii ob'ektov jenergetiki. XIII konferencija stran SNG s mezhdunarodnym uchastiem. Trudy konferencii. Sevastopol'. 14–18 ijulja 2003 g. Kiev. – 2003. – p. 116–120.

3. Ul'ev L.M., Nechiporenko D.D. Jenergosberegajushhij potencial processa gidroochistki na ustanov-ke kataliticheskogo riforminga L.M. Ul'ev, D.D. Nechiporenko Integrovani tehnologii ta energozbe-rezhennja. – 2011, – #2. – p. 20–28.

4. Osnovy integracii teplovyh processov [R. Smit, J. Klemesh, L. L. Tovazhnjanskij, P. A. Kapustenko, L. M. Ul'ev]. – Har'kov: HGPU, 2000. – 457 p.

5. Meshalkin V.P. Osnovy jenergoresursojefektivnyh jekologicheskij bezopasnyh tehnologij neftepererabotki Meshalkin V.P., Tovazhnjanskij L.L., Kapustenko P.A. – Har'kov: NTU «HPI», 2011. – 616 p.

6. Nordman R. New process integration methods for heat – saving retrofit projects in industrial systems. Thesis for the degree of doctor of philosophy. Chalmers University of Technology Roger Nordman. – Goteborg, Sweden, – 2005. – 77 p.

7. Integracija teplovyh processov na ustanovke pervichnoj pererabotki nefiti AVT A12 2 pri rabote v zimnee vremja L.L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, L.M. Ul'ev [i dr.] Teoret. osnovy him. tehnologii. – 2009. –Т. 43, –#6. –p. 665–676.

УДК 658.26:665.63:338.45

Ульянов Л.М., Нечипоренко Д.Д.

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНА ІНТЕГРАЦІЯ БЛОКУ ГІДРООЧИЩЕННЯ СИРОВИНИ УСТАНОВКИ Л-35-11/600

В результаті застосування пінч-методів отримана нова система теплообміну і представлена працездатна, економічно вигідна енерготехнологічна схема блоку гідроочищення сировини технологічної схеми установки Л-35-11/600. Отримано порівняльну характеристику існуючого процесу гідроочищення сировини та інтегрованого процесу. Впровадження даної реконструйованої схеми дозволить знизити питоме енергоспоживання гарячих утиліт на 2383 кВт, а холодних – на 2615 кВт, що становить 58 % за гарячими утилітами та 52 % за холодними утилітам. Показано, що економічний потенціал енергозбереження, доступний після інтеграції процесу, дорівнює 703528 дол США. Термін окупності запропонованого проекту реконструкції складає приблизно 7 місяців.

Ulyev L.M., Nechiporenko D.D.

PROCESS INTEGRATION OF RAW MATERIAL HYDROTREATING SECTION FOR AROMATIC PLANT L-35-11/600

As a result of the pinch method is used to heat the new system and presented a workable, cost-effective energy technology block diagram of hydrotreating raw technological scheme of the installation L-35-11/600. Obtained a comparative analysis of existing hydrotreating process raw materials and integrated process. The introduction of this scheme would reduce the reconstructed energy intensity of hot utilities 2383 kW, and the cold – to 2615 kW, which accounts for 58 % of hot utilities and 52 % cold utilities. It is shown that the economic potential for energy savings available after the integration process is 703528 USD. The payback period of the proposed renovation project is approximately 7 months.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ НА ЕГО СТОИМОСТЬ

В большинстве случаев расчет пластинчатого теплообменника это всегда компромисс между поверхностью необходимой по условиям теплообмена и поверхностью, обеспечивающей удовлетворение условий по потерям давления, между капитальными затратами на приобретение аппарата и эксплуатационными издержками в процессе работы. Пластинчатые теплообменники все шире внедряются во все отрасли производства и, поэтому задача оптимального расчета пластинчатых теплообменных аппаратов при различных ограничениях приобретает все большую актуальность.

Полученное в работах [1,2] аналитическое соотношение для определения оптимальной величины допустимых потерь давления при проектировании пластинчатого теплообменного аппарата, исходя из критерия минимума приведенных затрат, предполагает, что величина пакета пластин теплообменника определяется потерями давления по одному из теплоносителей. Однако в некоторых случаях, рассчитанный исходя из этих предпосылок теплообменник, не выполняет своей функции по тепловой нагрузке. В такой ситуации необходимо увеличивать пакет пластин (теплопередающую поверхность) в аппарате пока не будет выполнено условие по тепловой нагрузке.

В условиях ограниченности ресурсов особенно остро встает вопрос выбора наиболее эффективных инвестиционных вложений. В этом смысле все чаще при решении задачи модернизации производства доминирующим вопросом становится вопрос о капитальных затратах. Зачастую при проведении проектирования или модернизации теплообменного узла существуют жесткие финансовые ограничения на стоимость оборудования. Иными словами инвестором или собственником заранее оговаривается стоимость приобретаемого оборудования, в частности, теплообменников, превысить которую нельзя. В таком случае существует неопределенность при проектировании, связанная с определением допустимых потерь давления в аппарате, которая может в значительной мере определять типоразмер аппарата и площадь теплообменной поверхности. Фактически необходимо подобрать теплообменник (систему теплообменников) не превышающий заданной стоимости, обеспечивающий выполнение заданной функции и минимум эксплуатационных затрат.

Рассмотрим одноходовый противоточный аппарат с симметричной компоновкой пакета. Капитальные затраты на теплообменник представим в виде

$$C_{he} = (C_{frame} + C_{pl} \cdot n_{pl}) \cdot k_{vat} \cdot k_{inst} = [C_{frame} + C_{pl} \cdot (2 \cdot m_{ch} + 1)] \cdot k_{vat} \cdot k_{inst} \leq [C_{he}], \quad (1)$$

где C_{frame} – стоимость рамы пластинчатого аппарата, включающая в себя стоимость неподвижной и подвижной плит, несущей и опорной балок, комплекта стяжных болтов и другие принадлежности; C_{pl} – стоимость одной пластины (с прокладкой) данного типоразмера, установленной в аппарате; $[C_{he}]$ – предельно допустимая стоимость теплообменного аппарата; n_{pl} – число пластин в аппарате; m_{ch} – число каналов по греющей или нагреваемой стороне; $k_{vat} = 1,2$ – налог на добавленную стоимость (20 %); $k_{inst} = 1,15$ – коэффициент, учитывающий доставку, установку, обвязку и пуск аппарата. В общем случае стоимость рамы теплообменника C_{frame} зависит от количества пластин, так как чем больше пластин, тем длиннее несущая и опорная балка, стяжные болты, однако этой разницей в стоимости будем пренебрегать, ориентируясь на некоторую среднюю величину.

Из соотношения (1) число каналов в теплообменнике должно быть не более

$$m_{ch} \leq \frac{[C_{he}] - k_{vat} \cdot k_{inst} \cdot (C_{frame} + C_{pl})}{2 \cdot C_{pl} \cdot k_{vat} \cdot k_{inst}}$$

Скорость теплоносителей по греющей w_h и нагреваемой стороне w_c в каналах теплообменника определяется соотношениями:

$$w_h = \frac{V_h}{m_{ch} \cdot f_{ch}}, \quad w_c = \frac{V_c}{m_{ch} \cdot f_{ch}}, \quad (2)$$

где V_h, V_c – объемный расход греющего и нагреваемого теплоносителей, м³/с; f_{ch} – площадь проходного сечения канала, м²; здесь и далее индекс h относится к греющему (горячему) теплоносителю, индекс c к нагреваемому (холодному). Увеличение числа пластин (каналов m_{ch}) в теплообменнике приводит к снижению скорости теплоносителей в каналах, что снижает коэффициент теплоотдачи аппарата K . Однако за счет прямого увеличения теплопередающей поверхности $F=2 \cdot m_{ch} \cdot f_{pl}$, где f_{pl} – площадь теплопередающей поверхности пластины, в уравнении теплопередачи $Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{ln}$, общее количество переданного тепла растет.

С точки зрения годовых приведенных затрат с увеличением числа пластин в пакете составляющая капитальных затрат растет, а эксплуатационных уменьшается, так как уменьшение потерь давления снижает затраты на прокачивание теплоносителей через теплообменник.

Число Нуссельта для обоих теплоносителей можно записать в виде [3]

$$Nu_h = A \cdot Re_h^n \cdot Pr_h^{n_1} \cdot (\mu_h / \mu_w)^{n_2}, \quad Nu_c = A \cdot Re_c^n \cdot Pr_c^{n_1} \cdot (\mu_c / \mu_w)^{n_2}, \quad (3)$$

где Re, Pr – числа Рейнольдса и Прандтля; μ, μ_w – коэффициент динамической вязкости при средней температуре теплоносителя и коэффициент динамической вязкости теплоносителя при средней температуре стенки пластины; A, n, n_1, n_2 – постоянные коэффициенты. Чаще всего принимают значение $n_1=0,43; n_2=0,14$, постоянные A и n зависят от угла гофрировки, высоты и шага гофры пластин [4].

Используя число Нуссельта (3) и выражения для скорости теплоносителей (2), для коэффициентов теплоотдачи α_h и α_c получим

$$\alpha_h = A \cdot \left(\frac{V_h \cdot d_{ekv}}{m_{ch} \cdot f_{ch} \cdot \nu_h} \right)^n \cdot Pr_h^{n_1} \cdot (\mu_h / \mu_w)^{n_2} \cdot \frac{\lambda_h}{d_{ekv}}, \quad \alpha_c = A \cdot \left(\frac{V_c \cdot d_{ekv}}{m_{ch} \cdot f_{ch} \cdot \nu_c} \right)^n \cdot Pr_c^{n_1} \cdot (\mu_c / \mu_w)^{n_2} \cdot \frac{\lambda_c}{d_{ekv}},$$

где λ – удельная теплопроводность теплоносителя; d_{ekv} – эквивалентный диаметр, примерно равный удвоенной высоте гофры; ν – коэффициент кинематической вязкости при средней температуре теплоносителя.

Коэффициент теплопередачи K традиционно записывается в виде

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_h} + \frac{\delta}{\lambda_{pl}} + \frac{1}{\alpha_c}},$$

где λ_{pl} – удельная теплопроводность материала пластины; δ – толщина пластины; загрязнение поверхности пластин не учитывается.

Подставим все величины в уравнение теплового баланса и получим

$$Q \geq \frac{2 \cdot m_{ch} \cdot f_{pl} \cdot \Delta t_{ln}}{\frac{1}{A \cdot \left(\frac{V_h \cdot d_{ekv}}{m_{ch} \cdot f_{ch} \cdot \nu_h} \right)^n \cdot Pr_h^{n_1} \cdot (\mu_h / \mu_w)^{n_2} \cdot \frac{\lambda_h}{d_{ekv}} + \frac{\delta}{\lambda_{pl}} + \frac{1}{A \cdot \left(\frac{V_c \cdot d_{ekv}}{m_{ch} \cdot f_{ch} \cdot \nu_c} \right)^n \cdot Pr_c^{n_1} \cdot (\mu_c / \mu_w)^{n_2} \cdot \frac{\lambda_c}{d_{ekv}}}}. \quad (4)$$

Таким образом, если после подстановки в (4) числа каналов m_{ch} из равенства (1) неравенство (4) выполняется, то для теплообменника выполняется основная функция по передаче тепла, и он может быть установлен. Если неравенство (4) не выполняется. То такой теплообменник не обеспечивает своих функций по нагреву или охлаждению, и число каналов (пластин) должно быть увеличено, и, как следствие,

возрастает его стоимость. Фактически, задавая предполагаемую стоимость аппарата, мы задаем число каналов (пластин) и проверяем аппарат на работоспособность.

Другим не менее важным условием при расчете теплообменного аппарата является выполнение ограничений по потерям давления теплоносителями, проходящими через теплообменник. Потери давления по теплоносителю Δp , Па, в пакете пластин рассчитываются из соотношения

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{l_{pr}}{d_{ekv}} \cdot \frac{\rho w^2}{2} \leq [\Delta p],$$

где ρ – средняя плотность теплоносителя, кг/м³; l_{pr} – приведенная длина пластины, м, равная отношению площади теплопередающей поверхности пластины f_{pl} к ее ширине b . Величина ζ – коэффициент гидравлического трения, являющийся функцией геометрических параметров пластины (гофрировки), который рассчитывается по формуле $\zeta = B \cdot Re^{-m}$, где B, m – постоянные.

Общие потери давления в теплообменнике складываются из потерь давления в присоединениях, коллекторе и аппарате. Они обычно представляются в виде

$$\Delta p_{all} = \Delta p + \Delta p_p,$$

где Δp_p – потери давления, Па, в присоединениях и коллекторе аппарата, которые рассчитываются по формуле

$$\Delta p_p = \zeta_p \cdot \frac{\rho w_p^2}{2},$$

где w_p – скорость теплоносителя в коллекторе и присоединениях теплообменника, м/с; ζ_p – коэффициент гидравлического сопротивления в коллекторе и присоединениях, в большинстве литературных источников эту величину рекомендуется принимать $\zeta_p = 1,5$.

В качестве примера демонстрирующей предложенную методику рассмотрим расчет пластинчатого подогревателя сахарного сока перед выпариванием, с использованием в качестве греющего теплоносителя конденсата. Исходные данные для расчета принимались следующими: $G_c = 300000$ кг/ч сока, $t_{11} = 112$ °C, $t_{12} = 92$ °C, $t_{21} = 88$ °C, $t_{22} = 94$ °C.

Примем к установке теплообменник марки М15М производства фирмы «Альфа Лаваль» с геометрическими параметрами: высота гофры, – 4,0 мм; ширина пластины – 0,45 м; эквивалентный диаметр – 8 мм; площадь пластины – 0,62 м²; площадь канала – $1,8 \cdot 10^{-3}$ м²; приведенная длина – 1,244 м. Значения коэффициентов $A = 0,1$; $n = 0,72$; $B = 1,632$ и $m = 0,11$ [2].

Значения расчетных теплофизических и гидравлических величин: коэффициенты динамической вязкости – $\mu_h = 0,2865 \cdot 10^{-3}$ и $\mu_c = 0,7174 \cdot 10^{-3}$ кг/(м·с); средняя плотность – $\rho_h = 959,9$ и $\rho_c = 1035$ кг/м³; объемный расход – $V_h = 0,0245$ и $V_c = 0,0805$ м³/с.

Стоимость теплообменника вычисляется по линейной зависимости (1). Для пластинчатого теплообменника марки М15М производства «Альфа Лаваль», используя прайс-листы этой фирмы, для количества пластин $20 \leq n \leq 200$ были получены следующие значения коэффициентов: $C_{frame} = 5968,7$ € и $C_{pl} = 87,62$ €. Величины получены без учета НДС, доставки и обвязки аппарата.

Минимальная стоимость C_{he} с учетом всех налогов и коэффициентов из соотношения (1), для которой выполняется неравенство (4), равна 18300 €. При этом число каналов $m_{ch} = 42$, число пластин – 83 (рис. 1). Дальнейшее увеличение стоимости теплообменника приводит к уменьшению потерь давления по сторонам холодного и горячего теплоносителя. Последнее обстоятельство позволяет снизить расходы на насосное оборудование и электроэнергию на прокачивание теплоносителей через теплообменник. В данном конкретном примере существует минимальное значение потерь давления по стороне холодного теплоносителя, которое обеспечивает рекомендуемое значение касательного напряжения на стенке пластин, о чем подробно изложено в работе [1].

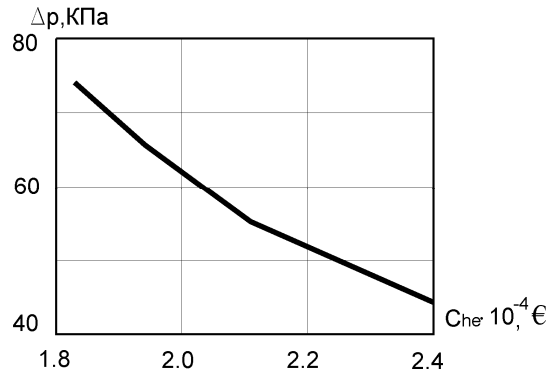


Рисунок 1 – Зависимость потерь давления по стороне нагреваемого теплоносителя от предполагаемой стоимости теплообменного аппарата

Выводы. Таким образом, получено соотношение для определения тепловой работоспособности и потерь давления на прокачивание теплоносителей при заданных ограничениях на стоимость теплообменного аппарата. Эффективность полученного решения продемонстрирована на расчете подогревателя очищенного сахарного сока перед выпариванием.

Литература

1. Арсеньева О.П., Демирский А.В., Хавин Г.Л. Один подход к расчету оптимального пластинчатого теплообменника // Пробл. машиностроения, 2011.– №1.– С. 37–46.
2. Арсеньева О.П., Демирский А.В., Хавин Г.Л. Выбор оптимальных параметров двухступенчатых пластинчатых подогревателей // Интегрированные технологии и энергосбережение, 2011.– №1.– С. 95–103.
3. Пластинчатые теплообменники в теплоснабжении /Л. Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева. – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2007.– 448 с.
4. Математическое моделирование и оптимизация разборных пластинчатых теплообменников / Арсеньева О.П., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л. // Интегрированные технологии и энергосбережение, 2009.– №2.– С. 17–25.

Работа выполнена при финансовой поддержке Европейского сообщества в рамках проекта EU project FP7-SME-2010-1-262205-INHEAT.

Bibliography (transliterated)

1. Arsen'eva O.P., Demirskij A.V., Havin G.L. Odin podhod k raschetu optimal'nogo plastinchatogo teploobmennika Probl. mashinostroenija, 2011.– #1.– p. 37–46.
2. Arsen'eva O.P., Demirskij A.V., Havin G.L. Vybory optimal'nyh parametrov dvuhstupenchatyh plastinchatyh podogrevatelej Integririvannye tehnologii i jenergosberezenie, 2011.– #1.– p. 95–103.
3. Plastinchatye teploobmenniki v teplosnabzhenii L. L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, G.L. Havin, O.P. Arsen'eva. – Har'kov: NTU „HPI”, 2007.– 448 p.
4. Matematicheskoe modelirovanie i optimizacija razbornyh plastinchatyh teploobmennikov Arsen'eva O.P., Tovazhnjanskij L.L., Kapustenko P.A., Havin G.L. Integririvannye tehnologii i jener-gosberezenie, 2009.– #2.– p. 17–25.

Rabota vypolnena pri finansovoj podderzhke Evropejskogo soobshhestva v ramkah proekta EU project FP7-SME-2010-1-262205-INHEAT.

УДК 66.045.01

Арсеньєва О.П., Бабак Т.Г., Демірський О.В., Хавін Г.Л.

ПРОЕКТУВАННЯ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛОБМІННИКА ПРИ ОБМЕЖЕННЯХ НА ЙОГО ВАРТІСТЬ

При проектуванні пластинчатого теплообмінника запропоновано аналітичний метод визначення теплової працездатності та втрат тиску в апараті при заданих обмеженнях на його вартість. Ефективність одержаного рішення продемонстровано при розрахунках підігрівача чистого цукрового соку перед випаровуванням.

Arsenyeva O., Babak T., Demirskyu A., Khavin G.

THE PLATE HEAT EXCHANGER DESIGN WITH COST CONSTRAINT OF IT

The analytical method to define of heat efficiency and pressure drop for design plate heat exchangers with cost constrains is proposed. The design of sugar juice heaters before evaporator system is demonstrated high effectiveness of this method.

ЕНЕРГОЗАОЩАДЖУВАЛЬНИЙ РЕЦИКЛІНГ ПСЕВДОСПЛАВІВ ВОЛЬФРАМУ

Інтенсивний розвиток промисловості і пов'язане з ним збільшення обсягів відходів основних виробництв та забруднення довкілля висувають на перший план питання, пов'язані з повним переробленням і подальшим використанням твердих промислових відходів.

Вольфрам відноситься до рідкісних стратегічних металів, сировинна база його досить обмежена, а в Україні навіть відсутня. Тому одним з найважливішим джерелом цього металу та його сполук стає вольфрамвмісний брухт. Вміст металу у відходах, що отримують на різних стадіях виробництва, значно перевищує його вміст у первинній сировині, тому питання раціонального і комплексного використання вторинних сировинних ресурсів набуває найбільшого значення у загальному балансі виробництва металу. Рециклінг вольфрамвмісних псевдосплавів, які складаються з карбіду вольфраму WC та зв'язуючого, в ролі якого зазвичай застосовують метали підгрупи заліза (Fe, Co або Ni), значною мірою дозволяє знизити дефіцит цього металу на українському ринку та повернути метал до обігу [1]. При цьому вдається вирішити і ряд інших важливих проблем, зокрема: збереження природних ресурсів, поліпшення екологічного стану довкілля, зменшення капітальних і енергетичних витрат, збільшення виробництва рідкісних металів, створення маловідходних технологій та ін.

Фізико-механічні та фізико-хімічні властивості вольфраму обумовили його використання у виробництві твердих псевдосплавів з заданими функціональними властивостями, до яких висувають підвищені вимоги, зокрема твердість і опір зношуванню, високу корозійну стійкість, червонотривкість та міцність щодо стискання і згину. В той же час підвищена міцність та стійкість цих матеріалів значно ускладнює переробку їх брухту.

Варіантів переробки твердих псевдосплавів вольфраму з подальшим вилученням цінних компонентів існує декілька, але найбільше розповсюдження набули хімічний, тобто без накладання зовнішнього струму ($j=0$), та електрохімічний (рис. 1).

За першим варіантом розчинення вихідної сировини у формі $[WC_x \cdot M]_{кр}$ відбувається за маршрутом S_2 , що відбиває вплив таких чинників, як хімічний склад реакційної суміші V_1 та технологічних параметрів процесу V_2 . Елементами V_1 є хімічні потенціали реагентів μ , рН середовища, наявність і форма лігандів L, аніонний склад розчину A та ін. До технологічних параметрів V_2 віднесено температуру T, тиск P та час перебігу реакції t, примусове перемішування ρ тощо. Подальше перетворення вихідної сировини можна спрямувати за різними керованими стадіями і напрямками, перебіг яких дозволяє вольфрам вилучити у вигляді карбіду, вольфрамату WO_4^{2-} , оксиду та інших сполук [2, 3]. Метал-зв'язку можна виділити у вигляді простих гідратованих іонів у розчині, у вигляді комплексів ML^n комплексів, переводити у нерозчинні сполуки. Метали різної природи відрізняються поведінкою в однакових розчинах, що значно ускладнює процес хімічного вилучення. Крім того, такий спосіб відрізняється багатостадійністю реалізації процесу, застосуванням дорогих і агресивних реагентів, значними викидами газоподібних речовин, високими енерговитратами на підігрів розчинів, вентиляцію тощо.

З огляду на вищезазначене перспективними вбачаються електрохімічні методи перероблення, які надають можливість здійснювати селективне розділення компонентів вольфрамвмісних сплавів таким чином, щоб продукти переробки сировини можна було використовувати безпосередньо для синтезу нових матеріалів, що є достатньо привабливим технічним рішенням.

При електрохімічному способі ($j \neq 0$) рециклінгу вольфрамвмісних сплавів за маршрутом S_1 до означених вище чинників V_1 та V_2 залучають і параметри електролізу V_3 , варіювання яких дозволяє гнучко керувати перебігом як окремих стадій, так і процесом вцілому. До складу V_3 слід віднести густину струму, напругу на електрохімічному реакторі U, кількість пропущеної електрики Q, шпаруватість імпульсів q, тривалість імпульсу t_i і паузи t_n у випадку нестационарного програмованого електролізу та ін. У такий спосіб отримують такі ж самі цільові продукти, однак без використання дорогих та/або небезпечних реагентів, громіздкого обладнання та при зменшенні стадійності процесу, а відтак, і енерговитрат. Водночас, крім вилучення вищезазначених сполук, цей спосіб відкриває перспективи електролітичного осадження в одному технологічному процесі покриттів $[W-M]_{кр}$ з наперед заданими функціональними властивостями, широкий спектр яких може задовольняти потреби у зносо- та корозійностійких, каталітичних та інших матеріалах [4].

Важливим технологічним аспектом такого методу є вибір електроліту та режимів для анодного розчинення карбідів вольфраму. Попередні дослідження авторів дозволили обґрунтувати склад електроліту для анодного розчинення сплавів вольфраму [5] та визначити механізм реакції даного процесу Врахову-

ючи кінетичний контроль процесу анодного розчинення, проблему інтенсифікації процесу доцільно вирішувати шляхом застосування таких режимів електролізу, які дозволили б регулювати співвідношення швидкостей лімітуючих стадій електродного процесу. Саме розв'язанню такого завдання і присвячено роботу.

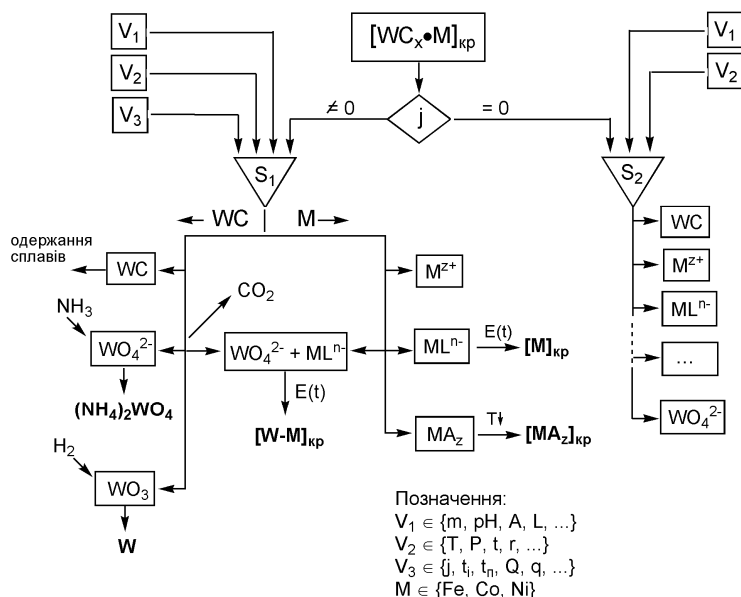
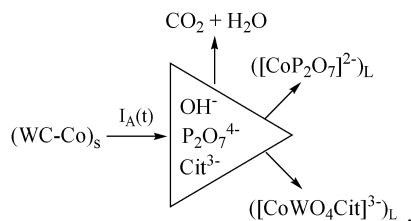


Рисунок 1 – Схема рециклінгу вольфрамвмісних сплавів

Методика експерименту. Досліджували зразки вольфрамвмісного псевдосплаву марки ВК з різним вмістом кобальту (2–19 % мас.). Електроліз проводили за трьохелектродною схемою в комплексному електроліті з варійованим співвідношенням концентрацій цитрат- і полі фосфат-іонів при температурі 40 °С і механічному перемішуванні. Форму сигналу поляризації, значення струму та час імпульсу і паузи задавали програматором ПР 8 та відпрацьовували потенціостатом ПІ-50-1. Швидкість розчинення та вихід за струмом контролювали гравіметрично.

Результати та їх обговорення. Попередні дослідження довели, що використання полілігандних електролітів, зокрема, на основі цитратів [6] і дифосфатів [7] лужних металів, сприяють інтенсифікації анодного розчинення вольфрамвмісних сплавів завдяки диференційованій спорідненості лігандів до сплавотвірних компонентів: кобальт утворює міцніші комплекси з дифосфат-іонами ($K_n[CoP_2O_7]^{2-} = 10^{-6}$), а вольфрамати – гетероядерні комплекси з кобальтом і цитратами за схемою:

Аналіз кінетичних характеристичних критеріїв, отриманих з аналізу анодних вольтамперограм, вказує на необоротність анодного процесу окиснення кобальту і вольфраму та його ускладнення стадією адсорбції лігандів і десорбції утворених продуктів. З огляду на отримані результати для інтенсифікації процесу анодного розчинення сплаву застосовано режим імпульсної гальваностатичної поляризації.



Для визначення оптимальних параметрів електролізу досліджували вплив складу розчину (співвідношення концентрацій дифосфат- і цитрат-іонів) і режимів імпульсного електролізу (амплітуди струму j_a , тривалість та співвідношення часу імпульсу і паузи, шпаруватості) на швидкість анодного розчинення та вихід за струмом.

Отримані результати свідчать про прискорення стадії іонізації процесу окиснення компонентів сплаву під час імпульсу. Водночас, в період паузи спостерігаються процеси адсорбції лігандів, десорбції продуктів і відведення розчинних продуктів реакції з прианодного шару.

Дослідження показали, що при співвідношенні часу імпульсу та паузи 2:1 швидкість розчинення сплаву зростає у 1,5 рази в порівнянні з співвідношенням 1:1, що свідчить про суттєве прискорення стадії іонізації під час імпульсу. Водночас встановлено, що збільшення амплітуди струму до 100 А/дм² підвищує швидкість розчинення сплаву практично у 4 рази, тобто в період імпульсу матеріал підтримується в стані активного розчинення. Виявлено, що на прискорення анодного процесу також позитивно впливає залуження електроліту внаслідок катодного виділення водню. Так, при довготривалому електролізі встановлено зміну рН розчину з 9,7 до 11,8. Імовірно, подальше зростання рН не є доцільним, оскільки може призводити до пасивації з'язуючого матеріалу, характерної для тріади елементів підгрупи феруму. Анодний вихід за струмом залежно від режиму електролізу становить 65–70 %, спряженою реакцією і виділення кисню.

Таким чином, встановлено, що застосування імпульсного режиму електролізу сприяє зростанню швидкості анодного розчинення вольфрамвмісних псевдосплавів. За результатами досліджень виявлено залежність виходу за струмом від співвідношення концентрацій лігандів, густини струму, часу імпульсу і паузи, визначено оптимальні параметри електролізу.

Висновки.

На підставі одержаних результатів встановлено, що застосування режиму програмованого електролізу сприяє інтенсифікації анодного розчинення вольфрамвмісних псевдосплавів при їх рециклінгу за рахунок прискорення стадії іонізації компонентів сплаву.

Література

1. Ситтиг М. Извлечение металлов и неорганических соединений из отходов: Справочник.. Ситтиг М. / Пер. с англ.- М.: Metallurgija, 1985.– 408 с.
2. Яворський В.Т. Технологічний процес електрохімічної конверсії карбиду вольфраму вторинних псевдосплавів WC-Ni в амонію паравольфрамат і Ni(II) сульфат / В.Т. Яворський, О.І.Кунтий, А.В.Срібна, В.Р.Івашків // Енерготехнології і ресурсозбереження. – 2009. – № 2. – С. 72–76.
3. Швець К.С. Анодная переработка псевдосплавов с получением порошка вольфрама или карбида вольфрама / К.С. Швець, Д.Г. Усенко, В.Л. Коваленко, В.А. Коток / Хімія та сучасні технології: V міжнародна наук.-техн. конф. студентів і аспірантів: Тез.доп. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2011. – С.157.
4. Ведь М.В. Каталітичні та захисні покриття сплавами і складними оксидами: електрохімічний синтез, прогнозування властивостей / М.В.Ведь, М.Д.Сахненко.– Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – 272 с.
5. Патент 50653 Україна, МПК C22B 34/36, C25B 1/00. Електроліт для швидкісного розчинення сплавів вольфраму / М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, І.Ю Єрмоленко, М.С. Панкратьєва; заявник і патентовласник НТУ "ХПІ". – № u200909621; заяв. 21.09.2009; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12.
6. Балмасов А.В. Влияние цитрат -ионов на анодное поведение вольфрама / Балмасов А.В., Виноградов Е.И., Лилин С.А. // Защита металлов. – 2006. – Т.42, № 6. – с. 551–553.
7. Ведь М.В. Інтенсифікація електрохімічного розчинення сплавів на основі вольфраму / Ведь М.В., Єрмоленко І.Ю., Сахненко М.Д., Любимов Д.І. // Вісник НТУ "ХПІ". – 2010. – № 30. – с. 82–86.

Bibliography (transliterated)

1. Sittig M. Izvlechenie metallov i neorganicheskikh soedinenij iz othodov: Spravochnik.. Sittig M. Per. s angl.- M.: Metallurgija, 1985.– 408 p.
2. Javors'kij V.T. Tehnologichnij proces elektrohimičnoї konversii karbidu vol'framu vtorrinnyh psevdospлавiv WC-Ni v amoniju paravol'framat i Ni(II) sul'fat V.T. Javors'kij, O.I.Kuntij, A.V.Sribna, V.R.Ivashkiv Jenergotehnologii i resursosberezhenie. – 2009. – # 2. – p. 72–76.
3. Shvec K.S. Anodnaja pererabotka psevdospлавov s polucheniem poroshka vol'frama ili karbida vol'frama K.S. Shvec, D.G. Usenko, V.L. Kovalenko, V.A. Kotok Himija ta suchasni tehnologii: V mizhnarodna nauk.-tehn. konf. studentiv i aspirantiv: Tez.dop. – Dnipropetrovs'k: UDHTU, 2011. – p.157.

4. Ved' M.V. Katalitichni ta zahisni pokrittja splavami i skladnimi oksidami: elektrohimični sin-tez, prognozuvannja vlastivostej M.V.Ved', M.D.Sahnenko.– Harkiv: NTU "HPI". – 2010. – 272 p.

5. Patent 50653 Ukraïna, MPK S22V 34 36, S25V 1 00. Elektrolit dlja shvidkисного rozchinennja spla-viv vol'framu M.D. Sahnenko, M.V. Ved', I.Ju Ermolenko, M.S. Pankrat'eva; zajavnik i patentovlasnik NTU "HPI". – # u200909621; zajav. 21.09.2009; opubl. 25.06.2010, Bjul. # 12.

6. Balmasov A.V. Vlijanie citrat -ionov na anodnoe povedenie vol'frama Balmasov A.V., Vinogradov E.I., Lilin S.A. Zashhita metallov. – 2006. – T.42, # 6. – p. 551–553.

7. Ved' M.V. Intensifikacija elektrohimičnogo rozchinennja splaviv na osnovi vol'framu Ved' M.V., Ermolenko I.Ju., Sahnenko M.D., Ljubimov D.I. Visnik NTU "HPI". – 2010. – # 30. – p. 82–86.

УДК 621.35

Ермоленко И.Ю., Ведь М.В., Сахненко Н.Д., Богоявленская Е.В.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ РЕЦИКЛИНГ ПСЕВДОСПЛАВОВ ВОЛЬФРАМА

Предложено для интенсификации процесса анодного растворения вольфрамсодержащих псевдосплавов использовать режим импульсной гальваностатической поляризации. Исследовано влияние состава раствора и режимов импульсного электролиза на скорость анодного растворения и выход по току. Определены оптимальные параметры электролиза.

Yermolenko I.Yu., Ved M.V., Sakhnenko N.D., Bogoyavlenskaja E.V.

TUNGSTEN ALLOYS ENERGY ECONOMY RECYCLING

Pulse galvanostatic polarization was proposed for acceleration of tungsten containing alloys anodic dissolution. A solution composition as well as pulse electrolysis regimes influences both on the anodic dissolution rate and current efficiency was investigated. Optimum electrolysis parameters were determined.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ С ПОМОЩЬЮ УЧЕТА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В СИСТЕМЕ ТЕПЛООБМЕНА НА УСТАНОВКЕ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ АВТ А12/2 В РЕЖИМЕ РАБОТЫ БЕЗ ВАКУУМНОГО БЛОКА

Введение. Проблема обеспечения украинской экономики энергоносителями – одна из самых актуальных в наше время. Газ, нефть, уголь и даже электроэнергию приходится импортировать. Ежегодно на это затрачивается около 8 млрд. дол., на что идет 2/3 всего товарного экспорта.

Научно-технический прогресс, улучшение качества продукции, улучшение условий труда, интенсификация всего общественного производства определяются развитием энергетики страны, основой которой является топливная база и предприятия по переработке топлива [1]. Увеличение объемов производства, которое ожидается на протяжении ближайших десяти лет, обуславливает возрастание спроса на энергию и электроэнергию. Несмотря на то, что установленная мощность переработки предприятий Украины является высокой, реальная рабочая мощность снижается. Возникает потребность в реабилитации существующих установок и оборудования. Это относится ко всем отраслям экономики государства, в том числе, и к нефтеперерабатывающей промышленности.

Установки атмосферно-вакуумной трубчатки (АВТ) являются основой всех нефтеперерабатывающих заводов, т.к. вся сырая нефть проходит через эти установки [2]. Поэтому особое внимание следует уделить повышению эффективности работы существующих АВТ, уменьшению удельных затрат на переработку нефти и снижению количества тепловых потерь на оборудовании установки [3, 4].

В предыдущих работах была проведена экстракция данных [5], моделирование процесса в программе HYSYS (Unisim Design), определен энергосберегающий потенциал установки, предложен проект схемы реконструкции [6], работоспособность которого подтверждена моделированием в программе HYSYS (Unisim Design), а также проведен расчет тепловых потерь на теплообменном оборудовании установки [7].

Учет потока тепловых потерь при построении составных кривых процесса. Расчет тепловых потерь на установке первичной переработки нефти АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока показал, что установка работает не в оптимальном режиме. Сравнение количества тепловых потерь, рассчитанного по горячим и холодным утилитам, и потерь непосредственно на теплообменном оборудовании и трубах, дает величину около 4 МВт, что составляет примерно половину всех тепловых потерь на установке.

В программном пакете Unisim Design целесообразно проводить моделирование установки первичной переработки нефти [8-10]. Благодаря уточнению данных для рассматриваемой установки была составлена таблица потоковых данных, которая является цифровым образом процесса. Она содержит все необходимые технологические данные о потоках, требуемые для интеграции процесса. Чтобы учет количества тепловых потерь на теплообменном оборудовании установки был произведен правильно при построении составных кривых, эти тепловые потери представлены в виде технологического потока и занесены в таблицу потоковых данных (табл. 1). Начальной температурой данного потока принимается температура окружающего воздуха, целевой температурой – температура нагретой поверхности теплообменных аппаратов.

Схема установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока представлена на рис. 1.

Используя технологические данные из таблицы 1, где тепловые потери в сети теплообмена представлены в виде материального потока, строим на энтальпийно-температурной диаграмме горячую и холодную составные кривые с учетом потока тепловых потерь.

Составные кривые процесса представляют собой суммарное изменение расходного теплосодержания всех холодных и горячих технологических потоков, циркулирующих на установке АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока (рис. 2).

Сравнение построенной энтальпийно-температурной диаграммы с представленной в предыдущих работах диаграммой составных кривых (рис. 3) показывает, что при учете потока тепловых потерь в системе теплообмена, количество горячих утилит составляет 45,48 МВт, а количество холодных утилит – 27,47 МВт. При этом мощность рекуперации тепловой энергии составляет приблизительно 35 МВт.

Таким образом, учет потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании в качестве материального потока позволяет получить более точное понимание взаимодействия с процессом горячих и холодных утилит, необходимых для осуществления процесса первичной переработки нефти.

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Таблица 1 – Поточковые данные технологических потоков, включенных в интеграцию для режима работы АВТ А12/2 без вакуумного блока в зимнее время, с учетом потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании

№	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
18	Тепловые потери	хол	-7	125				31,06	4099,52	

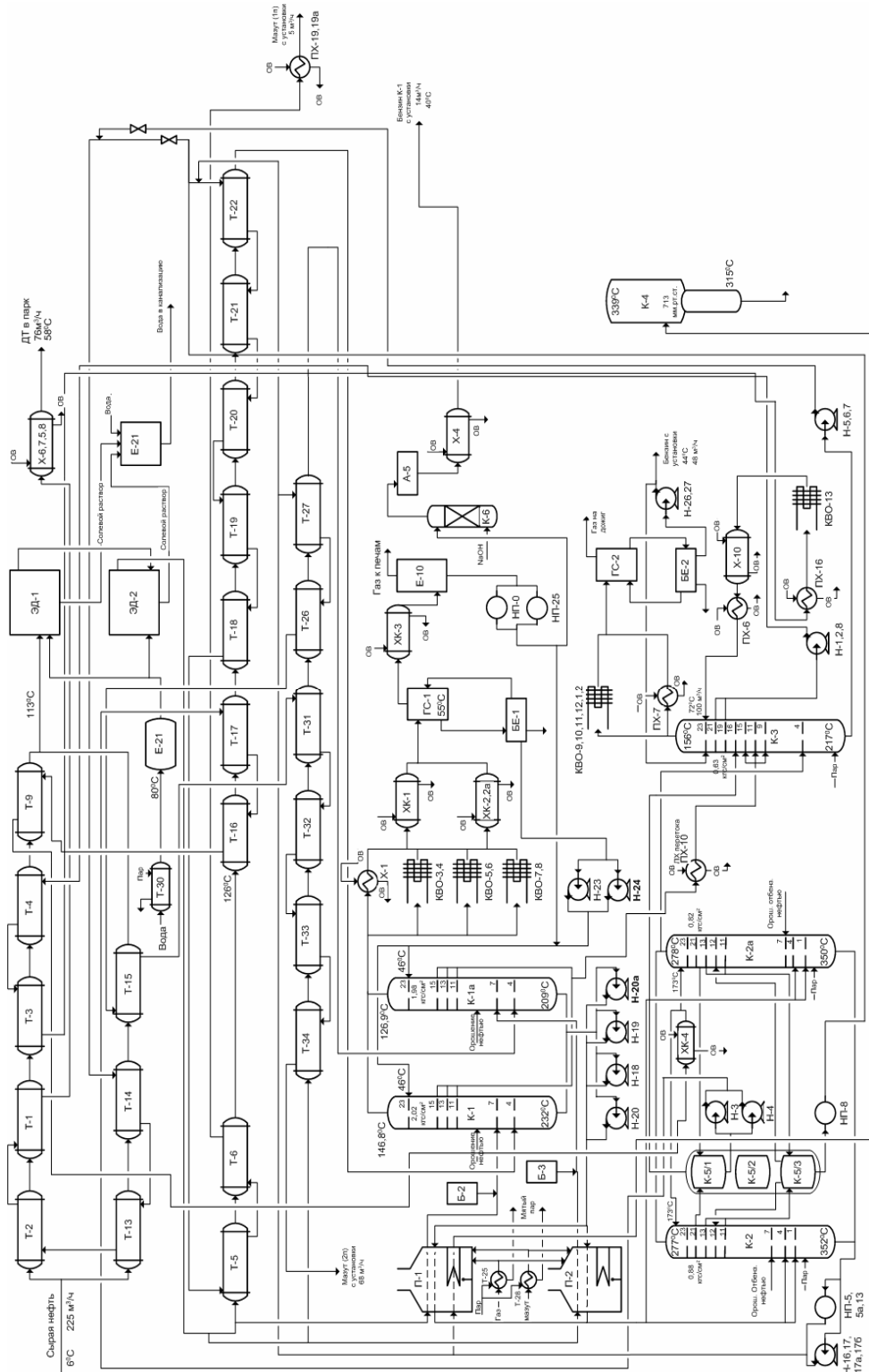


Рисунок 1 – Существующая схема установки переработки нефти АВТ А12/2 без вакуумного блока. БУ, БЕ, Е – емкости; БК – барометрический конденсатор; К1, К1а – атмосферные ректификационные колонны; К2, К2а – ректификационные колонны разгона отбензиновой нефти; К3 – ректификационная колонна для получения дизельного топлива; К4 – вакуумная колонна; К5 – огарная колонна; КВО – конденсатор колонна; КВО – конденсатор воздушного охлаждения; Н, НП – насосы; П – трубчатая печь; Т – теплообменные аппараты; Х, ПХ – холодильники; ХК – холодильники; ЭД – электродегидратор; ЭД – охлаждающая вода

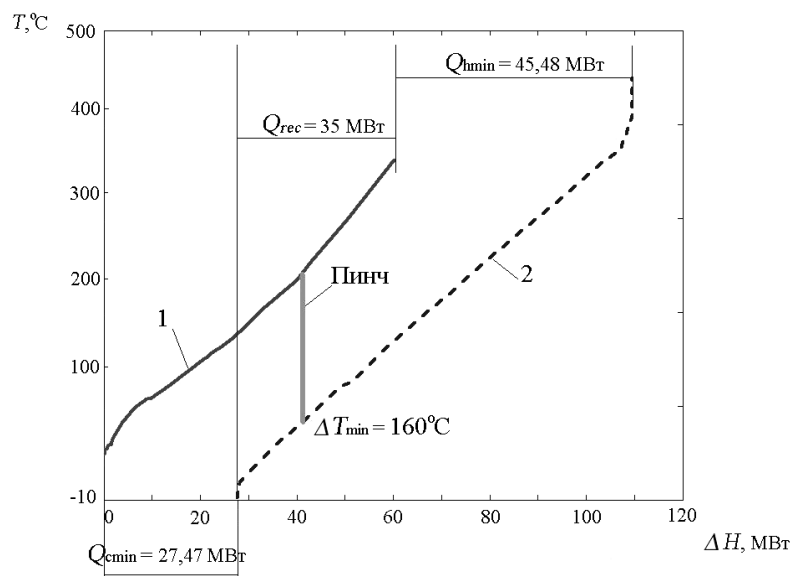


Рисунок 2 – Составные кривые существующего процесса с учетом потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании: 1 – горячая составная кривая; 2 – холодная составная кривая; Q_{hmin} – минимальное количество горячих утилит; Q_{cmin} – минимальное количество холодных утилит; Q_{rec} – мощность рекуперации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

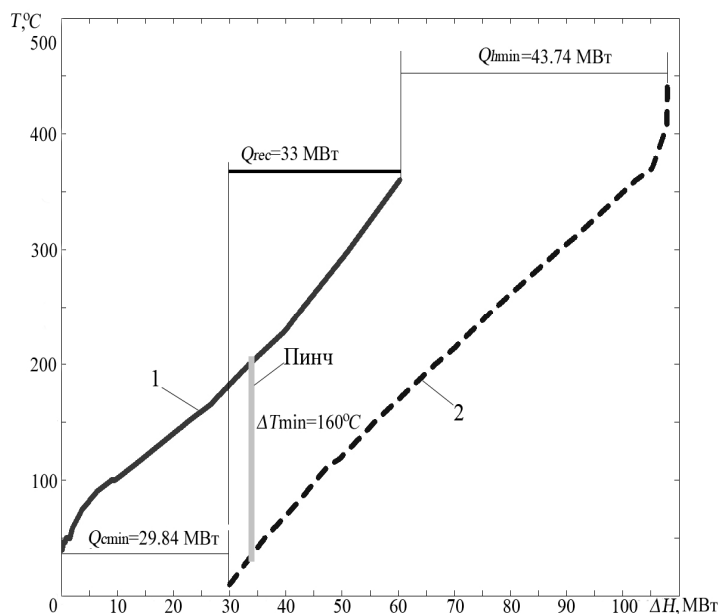


Рисунок 3 – Составные кривые существующего процесса без учета потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании: 1 – горячая составная кривая; 2 – холодная составная кривая; Q_{hmin} – минимальное количество горячих утилит; Q_{cmin} – минимальное количество холодных утилит; Q_{rec} – мощность рекуперации энергии; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

Разница между значениями горячих и холодных утилит при построении составных кривых без учета потока тепловых потерь и с учетом этого потока составляет 1,74 МВт и 2,37 МВт соответственно.

Учет потока тепловых потерь при построении большой составной кривой процесса. Для наиболее точного определения взаимодействия утилит с процессом, необходимо построить большую состав-

ную кривую. Она позволяет определить энергетические требования потока на любой температуре из температурного интервала, в котором находятся технологические потоки, участвующие в процессе [11]. Кроме того, для определения точного значения полезной нагрузки трубчатых печей установки необходимо построить на диаграмме большой составной кривой профиль отходящих дымовых газов трубчатых печей. В данном случае профиль отходящих газов целесообразно построить в качестве составной кривой.

Для построения профиля отходящих газов используются технологические данные, измеренные и рассчитанные для потоков дымовых газов с обеих печей (П-1, П-2) установки (табл. 2).

Таблица 2 – Технологические данные для построения составной кривой отходящих дымовых газов

Трубчатые печи	$t_s, ^\circ\text{C}$	$t_T, ^\circ\text{C}$	$CP, \text{кВт/К}$	$\Delta H, \text{кВт}$
П-1	1278	-7	30.82	39617.55
П-2	1296	-7	30.82	40171.5

Моделирование в программном пакете Unisim Design позволило получить точные значения начальных температур потоков дымовых газов, целевая температура принимается равной температуре окружающей среды. Для дальнейших расчетов необходимо значение потоковой теплоемкости [12].

Потоковая теплоемкость (CP) рассчитана по формуле:

$$CP = c \cdot W$$

где c – удельная теплоемкость отходящих газов, согласно табличным данным для данных условий составляет $1,675 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$; W – массовый расход отходящих газов, согласно измеренным значениям составляет $18,4 \text{ кг/с}$.

Использование данных из табл. 2 позволило построить профили отходящих дымовых газов трубчатых печей П-1 и П-2 установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока (рис. 4).

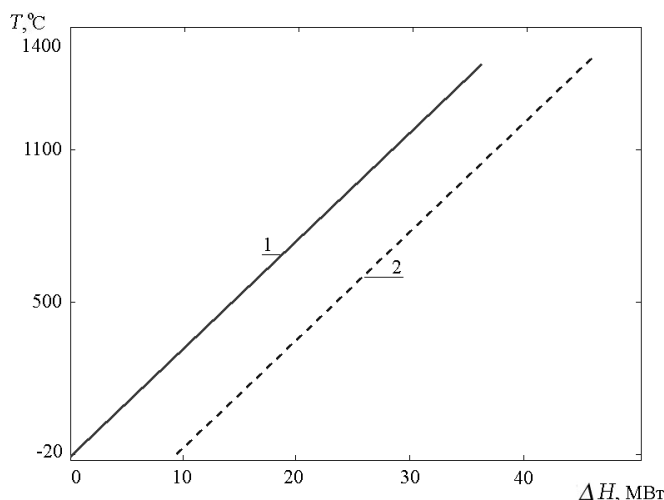


Рисунок 4 – Профили отходящих дымовых газов: 1 – профиль отходящих газов печи П-1; 2 – профиль отходящих газов печи П-2; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

На рис. 5 представлена составная кривая отходящих газов с установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока.

Проекция профиля отходящих газов на ось абсцисс показывает мощность, выделяемую при сжигании топлива в трубчатых печах установки. В данном случае она составляет $79,77 \text{ МВт}$ тепловой энергии.

Построение профиля отходящих дымовых газов с установки позволяет использовать его в диаграмме большой составной кривой для определения точного значения полезной нагрузки трубчатых печей установки.

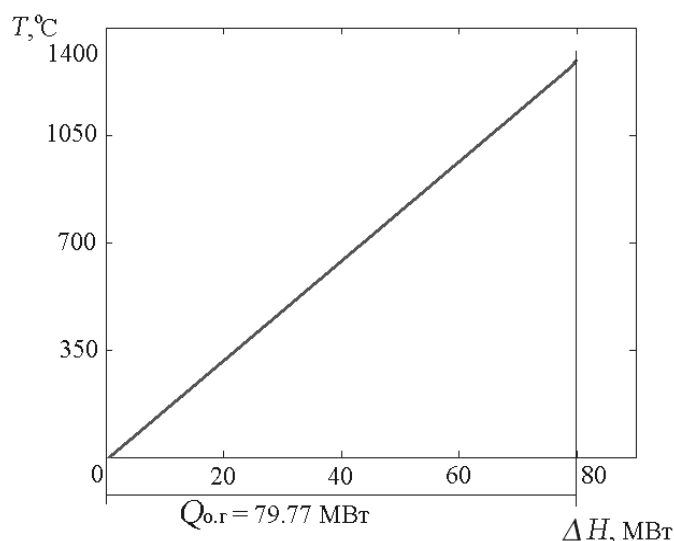


Рисунок 5 – Составная кривая отходящих газов установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока: $Q_{o.g.}$ – мощность отходящих газов; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

На рис. 6 представлена большая составная кривая существующего процесса первичной переработки нефти на установке АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока и профиль отходящих газов печей данной установки без учета потока тепловых потерь в системе теплообмена.

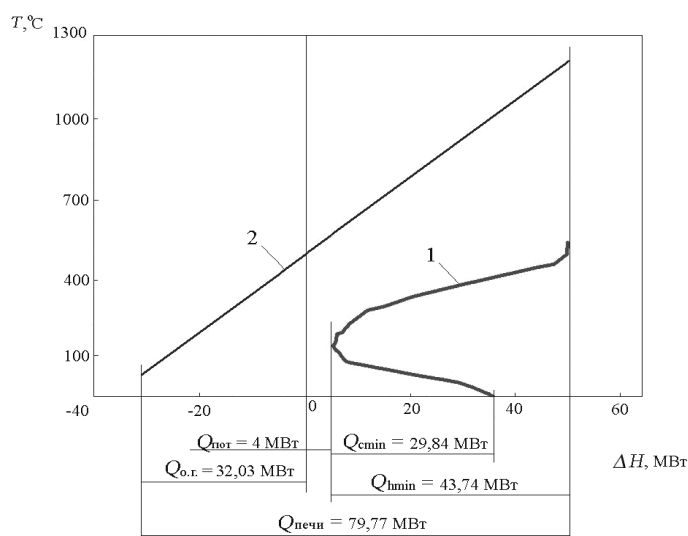


Рисунок 6 – Определение полезной нагрузки трубчатых печей без учета потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании: 1 – большая составная кривая процесса; 2 – профиль отходящих газов трубчатых печей установки; Q_{hmin} – минимальное количество горячих утилит;

$Q_{сmin}$ – минимальное количество холодных утилит; $Q_{o.g.}$ – мощность отходящих газов; $Q_{печи}$ – мощность, выделяемая при сжигании топлива в трубчатых печах установки; $Q_{пот}$ – количество тепловых потерь на установке; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

Тепловые потери на теплообменном оборудовании установки составляют 4 МВт, поэтому большая составная кривая сдвинута вправо по оси абсцисс на эту величину.

Точка, где тепловой поток соответствует нулю, показывает локализацию пинча. Точка пересечения температурного профиля отходящих газов и оси ординат показывает температуру, с которой отходящие газы отводятся с установки – 450 °С. Мощность горячих утилит показывает полезную нагрузку печи, а холодных утилит – мощность, которая отводится от процесса. Проекция профиля отходящих газов на ось абсцисс определяет мощность, выделяемую при сжигании топлива в трубчатых печах установки.

В данном процессе, как видно из рисунка, в печах выделяется 79,77 МВт тепловой мощности, полезная нагрузка печей составляет 43,74 МВт, а тепловая мощность отходящих газов – 32,03 МВт.

Большая составная кривая с учетом потока тепловых потерь в системе теплообмена установки АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока и профиль отходящих газов представлены на рис. 7.

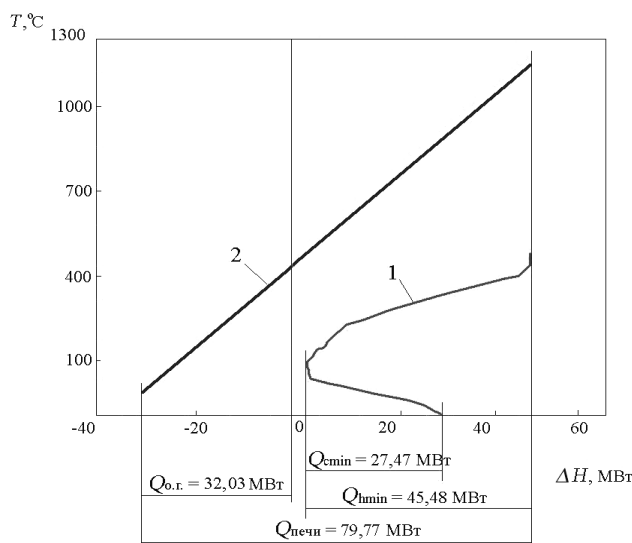


Рисунок 7 – Определение полезной нагрузки трубчатых печей с учетом потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании: 1 – большая составная кривая процесса; 2 – профиль отходящих газов трубчатых печей установки; Q_{hmin} – минимальное количество горячих утилит; Q_{cmin} – минимальное количество холодных утилит; $Q_{o.g.}$ – мощность отходящих газов; $Q_{печи}$ – мощность, выделяемая при сжигании топлива в трубчатых печах установки; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

Как видно, полезная нагрузка печей при таком подходе, определяется величиной 45,48 МВт, а тепловая мощность отходящих дымовых газов – 32,03 МВт.

Следует заметить, что поток тепловых потерь не существует в качестве материального потока. Его учет в построении диаграммы большой составной кривой процесса является средством для точного определения нагрузки трубчатых печей установки. Заметим, учет тепловых потерь при нагреве окружающего воздуха с его реальной начальной температурой замещает часть холодных утилит. Это происходит потому, что часть этого потока располагается ниже температуры пинча холодных потоков. Исходя из того, что полезная нагрузка печей соответствует нагрузке горячих утилит процесса, увеличение которых происходит за счет потерь тепловой энергии в окружающую среду, целесообразно производить учет потока тепловых потерь выше пинча, например, в интервале с самой высокой целевой температурой.

Учет тепловых потерь на теплообменном оборудовании в качестве материального потока в интервале с самой высокой целевой температурой позволяет не сдвигать большую составную кривую по оси ординат на 4 МВт тепловой мощности, как в случае без учета данного потока, как показано на рис. 8.

Таким образом, учет потока тепловых потерь на установке до системы разделения при построении большой составной кривой процесса позволяет определить более точное значение полезной нагрузки трубчатых печей – 47,74 МВт тепловой энергии.

Разница между значениями данной нагрузки при построении большой составной без учета потока тепловых потерь и с учетом этого потока составляет 4,1 МВт.

Выводы. Учет потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании при построении большой составной кривой процесса первичной переработки нефти на установке АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока позволяет получить более точные значения относительно полезной нагрузки печей, мощности отходящих газов, а также позволяет сделать наиболее точное определение взаимодействия утилит с процессом.

Обозначения. G – массовый расход, кг/с; H – потоковое теплосодержание, Вт; t_s – температура снабжения; °С; t_T – целевая температура, °С; r – теплота фазового перехода, Дж/кг; ΔT_{\min} – минимальная разность температур; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков; ЭЛОУ – электрообессоливающая установка; 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.

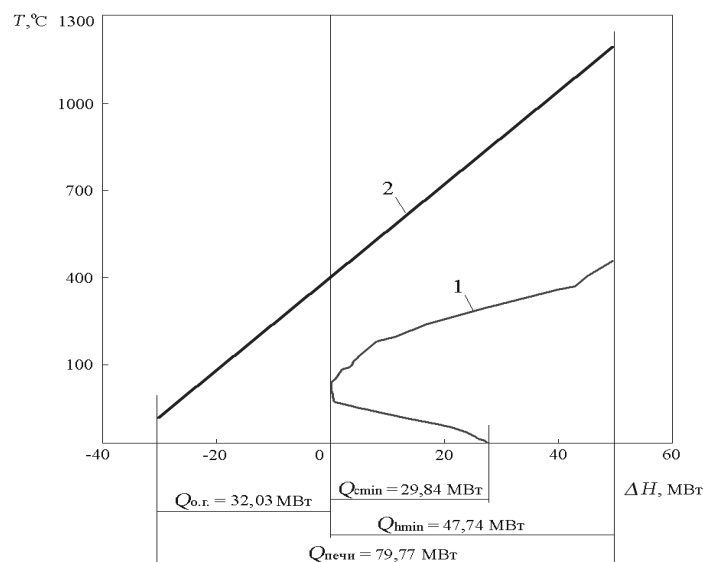


Рисунок 8 – Определение полезной нагрузки трубчатых печей с учетом потока тепловых потерь на теплообменном оборудовании в интервале с самой высокой целевой температурой: 1 – большая составная кривая процесса; 2 – профиль отходящих газов трубчатых печей установки; Q_{hmin} – минимальное количество горячих утилит; Q_{emin} – минимальное количество холодных утилит; $Q_{o.g.}$ – мощность отходящих газов; $Q_{печи}$ – мощность, выделяемая при сжигании топлива в трубчатых печах установки; T – температура; ΔH – изменение энтальпии потоков

Литература

1. Бурлак Г.Г. Нефтеперерабатывающая отрасль экономики: состояние и перспективы / Г.Г. Бурлак // Экономика Украины. – 2000. – №7. – С. 19–24.
2. Багиров И.Т. Современные установки первичной переработки нефти / И.Т. Багиров. – М.: Химия, 1974. – 240 с.
3. Степанов А.В. Рациональное использование сырьевых и энергетических ресурсов при переработке углеводородов / Степанов А.В., Сульжик Н.И., Горюнов В.С. – К.: Техника, 1989. – 170 с.
4. Клименко В.Л. Энергоресурсы нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / Клименко В.Л., Костерин Ю.В. – Л.: Химия, 1985. – 256 с.
5. 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.
6. Товажнянский Л.Л. Проектирование схемы реконструкции установки первичной переработки нефти АВТ А12/2 в режиме работы без вакуумного блока в зимнее время / Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульев, Л.А. Мельниковская, Б.Д. Зулин // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2010. – №3. – С. 64–73.
7. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей ХІХ науково-практичної конференції, 1–3 черв. 2011 р., Харків. Ч. 3 / за ред. Л.Л. Товажнянського. – Х.: НТУ «ХП», 2011. – С. 29.

8. Plesu V. Retrofit solutions in crude distillation plant using process simulation and process integration / Plesu V., Bumbac G., Tacu-Marcov C., Ivanescu I., Popescu D.C. // Chemical engineering transactions. – 2005. – Vol. 7. – P. 169–174.
9. Plesu V. HEN retrofit for a crude distillation unit-part 1 / Plesu V., Bumbac G., Nan O. // Chemical engineering transactions. – 2001. – Vol. 2. – P. 95–98.
10. Plesu V. Catalytic, reforming plant simulation for energy saving and rational use of hydrogen / Plesu V., Baetens D., Bumbac G. // Chemical engineering transactions. – 2001. – Vol. 2. – P. 489–492.
11. Основы интеграции тепловых процессов / [Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский та ін.]. – Х.: НТУ «ХПІ», 2000. – 458 с.
12. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 336 с.

Bibliography (transliterated)

1. Burlak G.G. Neftepererabatyvajushhaja otrasl' jekonomiki: sostojanie i perspektivy G.G. Burlak Jekonomika Ukrainy. – 2000. – #7. – p. 19–24.
2. Bagirov I.T. Sovremennye ustanovki pervichnoj pererabotki nefiti I.T. Bagirov. – М.: Himija, 1974. – 240 p.
3. Stepanov A.V. Racional'noe ispol'zovanie syr'evykh i jenergeticheskikh resursov pri pererabotke uglevodородов Stepanov A.V., Sul'zhik N.I., Gorjunov V.S. – К.: Tehnika, 1989. – 170 p.
4. Klimenko V.L. Jenergoresursy neftepererabatyvajushhej i neftehimicheskoy promyshlennosti Klimenko V.L., Kosterin Ju.V. – L.: Himija, 1985. – 256 p.
5. Tovazhnjanskij L.L. Jekstrakcija dannykh dlja teplojenergeticheskogo integrirovaniya 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 jenergosberezhenie. – 2010. – #1. – p. 53–64.
6. Tovazhnjanskij L.L. Proektirovanie shemy rekonstrukcii ustanovki pervichnoj pererabotki nefiti AVT A12 2 v rezhime raboty bez vakuumnogo bloka v zimnee vremja L.L. Tovazhnjanskij, L.M. Ul'ev, L.A. Mel'nikovskaja, B.D. Zulin Integrirovannye tehnologii i jenergosberezhenie. – 2010. – #3. – p. 64–73.
7. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XIX naukovopraktichnoї konferencії, 1–3 cherv. 2011 r., Harkiv. Ch. 3 za red. L.L. Tovazhnjanskogo. – H.: NTU «HPI», 2011. – p. 29.
8. Plesu V. Retrofit solutions in crude distillation plant using process simulation and process integration Plesu V., Bumbac G., Tacu-Marcov C., Ivanescu I., Popescu D.C. Chemical engineering transactions. – 2005. – Vol. 7. – P. 169–174.
9. Plesu V. HEN retrofit for a crude distillation unit-part 1 Plesu V., Bumbac G., Nan O. Chemical engineering transactions. – 2001. – Vol. 2. – P. 95–98.
10. Plesu V. Catalytic, reforming plant simulation for energy saving and rational use of hydrogen Plesu V., Baetens D., Bumbac G. Chemical engineering transactions. – 2001. – Vol. 2. – P. 489–492.
11. Osnovy integracii teplovykh processov [R. Smit, J. Klemesh, L.L. Tovazhnjanskij ta in.]. – H.: NTU «HPI», 2000. – 458 p.
12. Miheev M.A. Osnovy teploperedachi / M.A. Miheev, I.M. Miheeva. – М.: Jenergija, 1977. – 336 p.

УДК 658.26:665.63:338.45

Ульєв Л.М., Мельниковська Л.О.

ВИЗНАЧЕННЯ КОРИСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТРУБЧАСТИХ ПІЧОК ЗА ДОПОМОГОЮ ВРАХУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ В СИСТЕМІ ТЕПЛООБМІНУ НА УСТАНОВЦІ АВТ А12/2 В РЕЖИМІ РОБОТИ БЕЗ ВАКУУМНОГО БЛОКУ

Для визначення точних значень щодо корисного навантаження пічок та взаємодії утиліт з процесом виконується врахування потоку теплових втрат на теплообмінному обладнанні і трубах. Даний потік

включений у потокову таблицю і використовується при побудові великої складової кривої процесу первинної переробки нафти на установці АВТ А12/2 в режимі роботи без вакуумного блоку.

Ulyev L.M., Melnikovska L.O.

**DEFINITION OF PAYLOAD OF TUBULAR OVENS WITH ACCOUNT OF HEAT LOSS
IN THE HEAT EXCHANGERS NETWORK OF AVDU A12/2 IN THE MODE OF OPERATION
WITHOUT A VACUUM BLOCK**

To determine the exact values of the payload of ovens and interaction utilities with a process it is necessary to take into account the flow of heat losses in the heat exchange equipment and pipes. This flow is included in the stream data table and used in the construction of large composite curve of the process of primary oil refining in the AVDU A12/2 in the mode of operation without a vacuum unit.

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АВТОКОЛЕБАНИЙ ДАВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ
В ГИДРОСИСТЕМЕ СТАБИЛИЗАТОРА КАНАЛА ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВЕДЕНИЯ
ТАНКОВОЙ ПУШКИ**

Постановка задачи. Расчетная схема гидравлической системы стабилизатора танковой пушки в канале вертикального наведения приведена на рис. 1. Схема включает поворотный электромагнит ПЭМ, гидроусилитель ГУ, насос постоянной производительности Н и исполнительный гидроцилиндр ИГЦ. При отсутствии управляющего сигнала коромысло электромагнита центрируется в нейтральном положении пружинами П. Под действием управляющего сигнала $U_y(t)$, в обмотке электромагнита протекает электрический ток $i_{ЭМ}(t)$, который обеспечивает формирование момента электромагнита $M_{ЭМ}(t)$, приложенного к коромыслу. Последнее воздействует на иглы гидроусилителя, перемещая их и обеспечивая тем самым изменение проходных сечений дросселей. Расход жидкости через них изменяется, вызывая разность давлений рабочей жидкости в полостях гидроцилиндра, что обеспечивает перемещение штока гидроцилиндра.

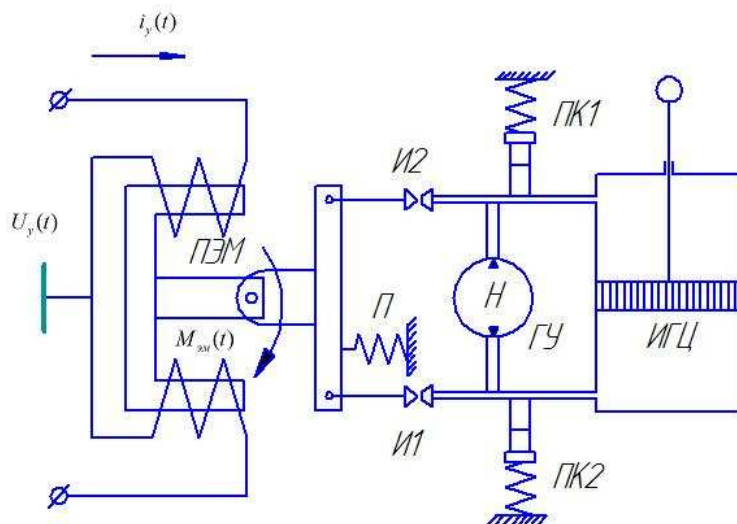


Рисунок 1 – Расчетная схема индикаторной системы стабилизатора танковой пушки

Когда ось канала ствола танковой пушки находится в непосредственной близости от линии прицеливания угол поворота коромысла относительно нейтрального положения весьма незначителен, а дросселирующие отверстия гидроусилителя практически заперты иглами, а утечки рабочей жидкости через эти отверстия весьма малы. Давление рабочей жидкости в магистралях гидроусилителя значительно возрастает и для его ограничения в систему встроены предохранительный клапан ПК. Основной характеристикой работоспособности предохранительного клапана является стабильность, под которой понимают постоянство поддерживаемого давления. Одним из возможных режимов работы предохранительного клапана является режим автоколебаний. Стабильность работы клапана в этом случае определяется амплитудой колебаний давления рабочей жидкости.

Целью настоящей работы является отыскание условий возникновения автоколебаний в гидросистеме и оценка их параметров.

Основная часть. Расчетная схема золотникового клапана приведена на рис. 2.

Дифференциальное уравнение движения золотника имеет следующий вид [1]:

$$m_3 \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + a \frac{dx(t)}{dt} + c[x_n + x(t)] + c_1 \text{sign} \frac{dx(t)}{dt} = p(t)S, \quad (1)$$

где $x(t)$ – текущее значение величины перемещения золотника; x_n – предварительная затяжка пружины; m_3 – масса золотника; a – коэффициент гидравлического трения; c – жесткость пружины; c_1 – величина силы сухого трения; S – площадь торцевой поверхности золотника.

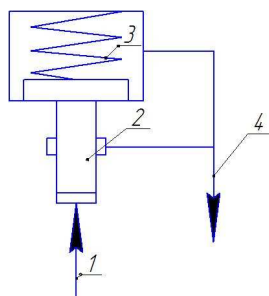


Рисунок 2 – Расчетная схема золотникового предохранительного гидроклапана
1 – напорная магистраль; 2 – золотник; 3 – пружина; 4 – сливная магистраль

Изменение давления рабочей жидкости в гидросистеме описывается уравнением [2,3]

$$\frac{dP(t)}{dt} = -\frac{E_0}{V_0} \left[\frac{dV(t)}{dt} + Q(t) \right], \quad (2)$$

где $\frac{dV(t)}{dt}$ – изменение объема рабочей жидкости за счет перемещения клапана; $Q(t)$ – расход утечек через заторы в клапане, определяемый соотношением:

$$Q(t) = \frac{K_y P(t)}{L_3 - x(t)}. \quad (3)$$

Через L_3 в соотношении (3) обозначена величина перемещения золотника, соответствующая открытию клапана. Коэффициент утечек K_y определяется геометрическими характеристиками клапана и свойствами рабочей жидкости

$$K_y = \frac{\pi r_3 \delta^3}{6\nu},$$

где r_3 – радиус золотника; δ – величина зазора между расточкой корпуса клапана и золотником; ν – вязкость рабочей жидкости.

Запишем соотношение, связывающее текущее значение замкнутого объема рабочей жидкости с перемещением золотника $x(t)$:

$$V(t) = V_0 + Sx(t). \quad (4)$$

С учетом соотношения (4) уравнение (2) принимает вид

$$\frac{dP(t)}{dt} = -\frac{E_0}{V_0} \left[S \frac{dx(t)}{dt} + Q(t) \right]. \quad (5)$$

Величину давления рабочей жидкости, соответствующую началу подъема клапана, обозначим через p^* , причем

$$p^* = \frac{C}{S} x_n.$$

Вводя обозначение

$$\Delta p(t) = p(t) - p^*,$$

дифференциальное уравнение (1) и соотношение (3) запишем в виде:

$$m_3 \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + a \frac{dx(t)}{dt} + cx(t) + c_1 \operatorname{sign} \frac{dx(t)}{dt} = \Delta p(t) S; \quad (6)$$

$$Q(t) = \frac{K_y p^*}{L_3 - x(t)} + \frac{K_y \Delta p(t)}{L_3 - x(t)}. \quad (7)$$

Предполагая, что в исследуемом переходном процессе отклонение переменной $x(t)$ от точки $x = 0$ мало, разложим нелинейную функцию (7) в ряд Тейлора в окрестности этой точки, отбрасывая нелинейные члены разложения:

$$Q(t) = \frac{K_y p^*}{L_3} + \frac{K_y}{L_3} \Delta p(t) + \frac{K_y p^*}{L_3^2} x(t). \quad (8)$$

С учетом формулы (8) уравнение (5) принимает вид:

$$\frac{dx(t)}{dt} = -\frac{1}{S} \left[\frac{V_0}{E_0} \frac{d\Delta p(t)}{dt} + \frac{K_y}{L_3} \Delta p(t) + \frac{K_y}{L_3} p^* + \frac{K_y p^*}{L_3^2} x(t) \right]. \quad (9)$$

Подставляя (9) в левую часть уравнения (6), получаем дифференциальное уравнение, описывающее изменение давления рабочей жидкости в гидросистеме:

$$B \frac{d^2 \Delta p(t)}{dt^2} + D \frac{d\Delta p(t)}{dt} + \Delta p(t) = F, \quad (10)$$

где постоянные коэффициенты B и D равны:

$$B = \frac{m_3 V_0}{E_0 S \left[S + \frac{a K_y}{L_3 S} - \frac{m_3 K_y^2 p^*}{L_3^3 S^2} \right]};$$

$$D = \frac{\frac{a V_0}{E_0 S} + \frac{m_3 K_y}{L_3 S} - \frac{m_3 K_y p^* V_0}{L_3^2 S^2 E_0}}{S + \frac{a K_y}{L_3 S} - \frac{m_3 K_y^2 p^*}{L_3^3 S^2}},$$

а нелинейная функция F представлена на рис. 3, причем величина коэффициента наклона прямых составляет

$$K_F = \frac{C + \frac{m_3 K_y^2 p^{*2}}{L_3^4 S^2} - \frac{a K_y p^*}{L_3^2 S}}{S + \frac{a K_y}{L_3 S} - \frac{m_3 K_y^2 p^*}{L_3^3 S^2}}.$$

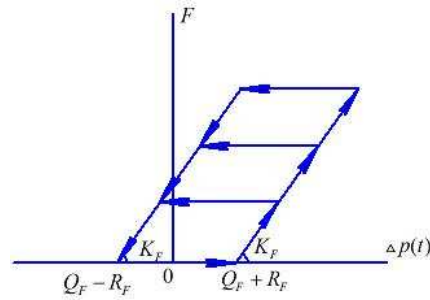


Рисунок 3 – Нелинейная правая часть уравнения (10)

Значения величин Q_F и R_F на рис. 3 связаны с параметрами клапана зависимостями:

$$Q_F = \frac{m_3 K_y^2 p^{*2}}{L_3^3 S^2} - \frac{a K_y p^*}{L_3 S};$$

$$R_F = \frac{C_1}{S + \frac{a K_y}{L_3 S} - \frac{m_3 K_y^2 p^*}{L_3^3 S^2}}.$$

В соответствии с методом гармонической линеаризации [4], предположим, что давление $\Delta p(t)$ изменяется по закону:

$$\Delta p(t) = \Delta p_0 + A \sin \omega t, \quad (11)$$

а нелинейная функция F равна

$$F = F^0 + \left[q + \frac{q_1}{\omega} p \right] A \sin \omega t, \quad (12)$$

где Δp_0 – величина смещения; A – амплитуда автоколебаний давления в гидросистеме; ω – частота автоколебаний; p – символ дифференцирования; F^0 , q , q_1 – коэффициенты гармонической линеаризации. Используя результаты работы [4] можно показать, что коэффициенты гармонической линеаризации для нелинейной функции, представленной на рис. 3, определяются соотношениями:

$$F^0 = \frac{K_F A}{4} - \frac{K_F}{2} (Q_F + R_F - \Delta p_0) - \frac{K_F A}{2\pi} \arcsin \frac{A - 2R_F}{A} +$$

$$+ \frac{K_F}{2\pi} (Q_F + R_F - \Delta p_0) \arcsin \frac{Q_F + R_F - \Delta p_0}{A} +$$

$$+ \frac{K_F}{2\pi} (Q_F - R_F - \Delta p_0) \arcsin \frac{Q_F - R_F - \Delta p_0}{A} - \quad (13)$$

$$- \frac{K_F A}{2\pi} \sqrt{1 - \left(\frac{A - 2R_F}{A} \right)^2} + \frac{K_F A}{2\pi} \sqrt{1 - \left(\frac{Q_F + R_F - \Delta p_0}{A} \right)^2} +$$

$$+ \frac{K_F A}{2\pi} \sqrt{1 - \left(\frac{Q_F - R_F - \Delta p_0}{A} \right)^2};$$

$$\begin{aligned}
 q = & \frac{K_F}{4} + \frac{K_F}{2\pi} \arcsin \frac{A-2R_F}{A} - \frac{K_F}{2\pi} \arcsin \frac{Q_F + R_F - \Delta p_0}{A} - \\
 & - \frac{K_F}{2\pi} \arcsin \frac{Q_F - R_F - \Delta p_0}{A} + \frac{K_F}{2\pi} \left(\frac{A-2R_F}{A} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{A-2R_F}{A} \right)^2} - \\
 & - \frac{K_F}{2\pi A} (Q_F + R_F - \Delta p_0) \sqrt{1 - \left(\frac{Q_F + R_F - \Delta p_0}{A} \right)^2} - \\
 & - \frac{K_F}{2\pi A} (Q_F - R_F - \Delta p_0) \sqrt{1 - \left(\frac{Q_F - R_F - \Delta p_0}{A} \right)^2};
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 q_1 = & -\frac{K_F}{2\pi} + \frac{K_F}{2\pi} \left(\frac{A-2R_F}{A} \right)^2 + \frac{K_F}{2\pi} \left(\frac{Q_F + R_F - \Delta p_0}{A} \right)^2 - \\
 & - \frac{K}{2\pi} \left(\frac{Q_F - R_F - \Delta p_0}{A} \right)^2.
 \end{aligned} \tag{15}$$

С учетом соотношений (11) и (12) дифференциальное уравнение (10) в операторной форме принимает вид:

$$(Bp^2 + Dp + 1)(\Delta p_0 + A \sin \omega t) = F^0 + \left(q + \frac{q_1}{\omega} p \right) A \sin \omega t. \tag{16}$$

Используя результаты работы [5], уравнение (16) представим в виде двух уравнений для постоянной составляющей и колебательной составляющей:

$$\Delta p_0 = F^0; \tag{17}$$

$$\left[Bp^2 + \left(D - \frac{q_1}{\omega} \right) p + 1 - q \right] A \sin \omega t = 0. \tag{18}$$

Уравнение (18) описывает колебательную составляющую давления относительно постоянного смещения Δp_0 , где величина F^0 определяется формулой (13).

Характеристическое уравнение гармонически линеаризованного уравнения (18) записывается в виде

$$Bp^2 + \left(D - \frac{q_1}{\omega} \right) p + 1 - q = 0. \tag{19}$$

В характеристическом уравнении (19) произведем замену $p = j\omega$ и приравняем к нулю действительную и мнимую части полученного уравнения

$$-B\omega^2 + 1 - q = 0; \tag{20}$$

$$D\omega - q_1 = 0, \tag{21}$$

где величины q и q_1 определяются формулами (14) и (15).

Уравнения (17), (20) и (21) позволяют отыскать неизвестные параметры автоколебаний золотникового гидроклапана Δp_0 , A и ω .

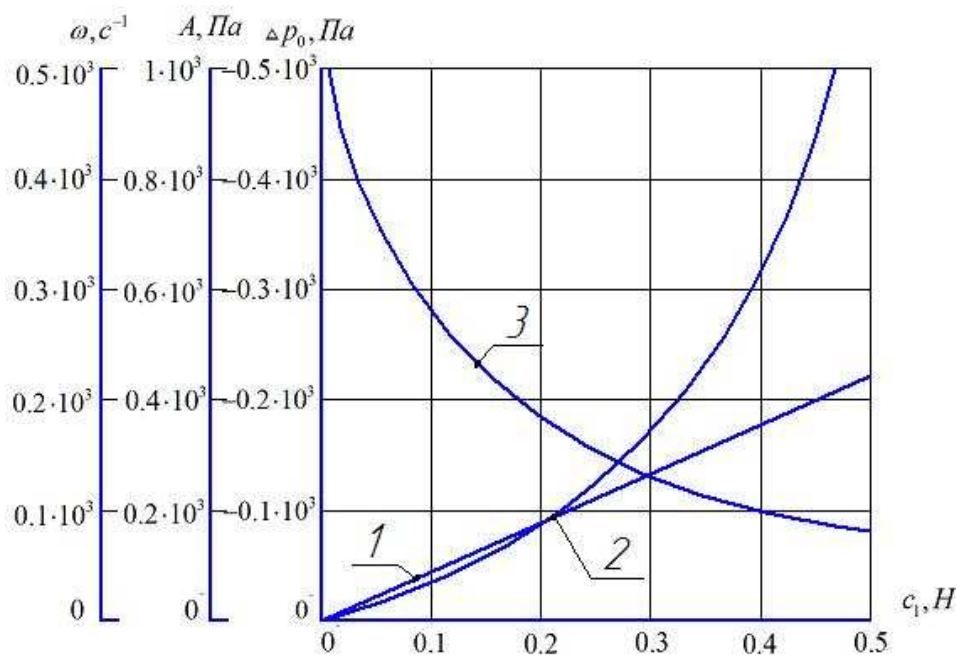
Пусть численные значения параметров предохранительного клапана составляют:

$$m_3 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^2; a = 0,2 \cdot 10^{-1} \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}; C = 0,126 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-1};$$

$$S = 0,785 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; V_0 = 0,72 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3; L_3 = 0,1 \cdot 10^{-1} \text{ м}; \delta = 0,3 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

$$r_3 = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}; x_n = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}; p^* = 8 \text{ МПа}.$$

На рис. 4 приведена зависимость амплитуд и частот автоколебаний давления рабочей жидкости в гидросистеме стабилизатора от величины силы сухого трения. С увеличением силы сухого трения возрастает амплитуда автоколебаний и уменьшается частота.



1 – Δp_0 ; 2 – A ; 3 – ω

Рисунок 4 – К расчету амплитуд и частот автоколебаний предохранительного гидроклапана

Выводы

- автоколебания давления рабочей жидкости в гидросистеме стабилизатора канала вертикального наведения танковой пушки возникают лишь при наличии сухого трения в золотниковом предохранительном клапане, причем с увеличением силы сухого трения возрастает амплитуда автоколебаний;
- амплитуда автоколебаний давления рабочей жидкости не превышает 0,01 % от величины поддерживаемого давления, что свидетельствует об отсутствии влияния этих автоколебаний на точность стабилизации оси канала ствола танковой пушки относительно линии прицеливания при использовании штатной схемы стабилизатора;
- частота автоколебаний рабочей жидкости в гидросистеме стабилизатора достаточно высока, что приводит к значительным помехам при использовании производных от величины давления в сигнале управления инвариантного стабилизатора танковой пушки и к необходимости использования специальных дифференцирующих фильтров в электронном блоке инвариантного стабилизатора [6].

Литература

1. Гийон М. Исследование и расчет гидравлических систем. – М.: «Машиностроение», 1964. – 388 с.
2. Кулагин А.В. Основы теории и конструирования объемных гидропередач // А.В. Кулагин, Ю.С. Демидов, В.Н. Прокофьев, Л.А. Кондаков. – М.: Высшая школа, 1968. – 400 с.
3. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. – М.: Машиностроение, 1974. – 606 с.
4. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1979. – 255 с.

5. Попов Е.П. Разделение управляемого процесса по частотам при приближенном исследовании нелинейных систем. – Известия АН СССР. Техническая кибернетика, 1967, №5, с. 181–189.

6. Александров Е.Е. Инвариантный стабилизатор танковой пушки / Е.Е. Александров, И.Е. Александрова, С.Н. Беляев, К.И. Богатыренко // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – Харків, 2006. – Вип. 2(8). – С. 39–42.

Bibliography (transliterated)

1. Gijon M. Issledovanie i raschet gidravlicheskih sistem. – М.: «Mashinostroenie», 1964. – 388 p.
2. Kulagin A.V. Osnovy teorii i konstruirovaniya ob'emnyh gidroperedach A.V. Kulagin, Ju.S. Demidov, V.N. Prokof'ev, L.A. Kondakov. – М.: Vysshaja shkola, 1968. – 400 p.
3. Bashta T.M. Ob'emnye nasosy i gidravlicheskie dvigateli gidrosistem. – М.: Mashinostroenie, 1974. – 606 p.
4. Popov E.P. Teorija nelinejnyh sistem avtomaticheskogo regulirovaniya i upravleniya. – М.: Nauka, 1979. – 255 p.
5. Popov E.P. Razdelenie upravljajemogo processa po chastotam pri priblizhenom issledovanii nelinejnyh sistem. – Izvestija AN SSSR. Tehnicheskaja kibernetika, 1967, #5, p. 181–189.
6. Aleksandrov E.E. Invariantnyj stabilizator tankovoj pushki E.E. Aleksandrov, I.E. Aleksandrova, S.N. Beljaev, K.I. Bogatyrenko Zbirnik naukovih prac' Harkivs'kogo universitetu povitrijanih sil. – Harkiv, 2006. – Vip. 2(8). – p. 39–42.

УДК 621.77

Александрова Т.Є., Александрова І.Є., Лазаренко О.О.

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ АВТОКОЛИВАНЬ ТИСКУ РОБОЧОЇ РІДИНИ У ГІДРОСИСТЕМІ СТАБІЛІЗАТОРА КАНАЛУ ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВЕДЕННЯ ТАНКОВОЇ ГАРМАТИ

Розглянута задача відшукування амплітуд та частот автоколиваний тиску робочої рідини в гідравлічній системі стабілізатора каналу вертикального наведення танкової гармати і оцінений їх вплив на точність стабілізації.

Alexandrova T.Ye., Alexandrova I.Ye., Lazarenko A.A.

CALCULATION OF OSCILLATIONS OF PRESSURE WORKING FLUID IN HYDRAULIC STABILIZER CHANNEL VERTICAL GUIDANCE OF TANK GUN

The problem of finding the amplitudes and frequencies of oscillations of pressure fluid in the hydraulic system stabilizer channel vertical guidance tank gun and measured their impact on the accuracy of stabilization.

Анипко О.Б., Бирюков И.Ю., Бусяк Ю.М.

ЗВУКОВЫЕ ПОРТРЕТЫ ОБЪЕКТОВ БРОНЕТЕХНИКИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАНИЯ ЦЕЛЕЙ

Введение

В настоящее время ввиду непрерывного возрастания скрытности действий войск одной из проблем является своевременное обнаружение целей на поле боя. Потому поиск в широком смысле слова – это разведка различных объектов в различных средах [1]. Сейчас развитие объектов бронетехники характеризуется несоответствием дальности обнаружения типовых целей с помощью устанавливаемых оптических и инфракрасных приборов и дальности стрельбы соответствующего вооружения.

Постановка цели и задачи научного исследования

На современном этапе развития бронетехники точность стрельбы, ее интенсивность и могущество боеприпасов в основном удовлетворяют современным требованиям. Основной проблемой полевого боя, в ключе задач поражения целей, является их обнаружение. Имеющимися приборами обнаружения, которыми оснащаются объекты бронетехники являются оптические и тепловизионные. Однако для современных условий этого уже недостаточно. В этой связи возникает задача расширения номенклатуры средств обнаружения на дальностях более 3 км [2].

В этой связи комплексная проблема своевременного обнаружения типовых целей, определения их характера и местоположения для поражения вооружением бронетехники представляется актуальной. Одним из путей решения этой комплексной проблемы также является задача акустического обнаружения целей с работающим двигателем – как основным источником акустических возмущений.

Основной материал

В целях создания необходимых условий для своевременного и скрытного развертывания войск, для защиты личного состава, техники и объектов от всех средств поражения, а также для максимального затруднения получения противником разведывательных данных об истинном расположении войск — организуется и осуществляется маскировка, с помощью которой можно обмануть противника относительно боевого состава войск, их истинного расположения, его действий и намерений [3].

Наоборот, зная демаскирующие свойства объектов, возможности по ведению разведки увеличиваются. В результате чего действия войск будут внезапными, неожиданными и позволят выиграть бой меньшими силами и средствами.

Под демаскирующими признаками будем понимать все, что может раскрыть противнику местонахождение объекта (цели) вследствие наличия возмущений в фоновых полях. Наземное (визуальное) наблюдение, основанное на видовых демаскирующих признаках, описывающих внешний вид объектов, ведется с наблюдательных пунктов (постов) в любой обстановке и является основным тактическим способом добывания разведанных о противнике.

Видовые демаскирующие признаки присущи каждому объекту (цели), но выявляются в результате анализа внешнего вида модели объекта – его изображения на экране оптического приемника (сетчатке глаза человека, фотоснимке, экране телевизионного приемника, приборе ночного видения и т.д.). Так как модель в общем случае отличается от оригинала, то состав и значения видовых демаскирующих признаков зависят не только от объекта, но и от условий наблюдения и характеристик оптического приемника.

Наибольшее количество информативных демаскирующих признаков добывается при визуально-оптическом наблюдении объектов в видимом диапазоне (рис. 1).

Геометрические и фотометрические характеристики объектов образуют наиболее устойчивую и информативную информационную структуру, так как они присущи объекту и относятся к прямым признакам.

Детали объектов, их количество, характер расположения дают представление о сложном объекте и позволяют отличить его от подобных по форме.

Тени объектов (собственная и падающая) возникают в условиях прямого солнечного освещения и являются важными демаскирующими признаками объекта при наблюдении его сверху, по которым можно обнаружить объект, определить его боковые размеры, высоту, а также в ряде случаев и форму.

Коэффициент отражения [3] (спектральный и интегральный) определяют цвет и яркость поверхности для различных длин волн и частот: в видимом, инфракрасном и радиодиапазоне.

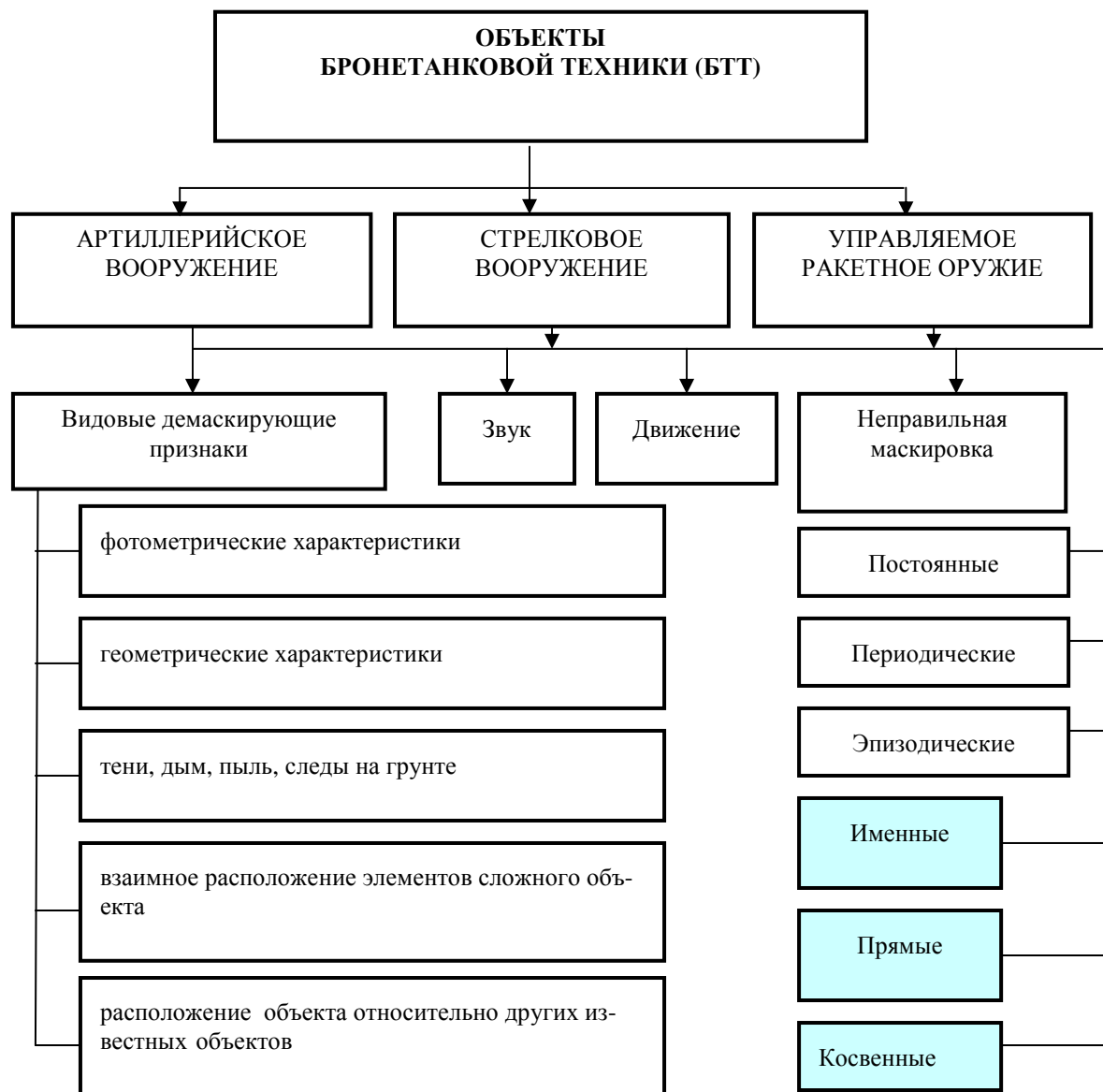


Рисунок 1 – Классификация демаскирующих признаков

Яркость объекта, определяемая не только коэффициентами отражения объекта, но и яркостью внешнего источника освещения, относится к косвенным признакам, таким как дым, пыль, следы на различных поверхностях [3]. Чем выше температура тела, тем больше излучаемая энергия, а ее максимум смещается в сторону более коротких волн. Поэтому нагретые тела с помощью соответствующих приборов могут наблюдаться в полной, с точки зрения человека-наблюдателя, темноте.

При оценке излучений в инфракрасном диапазоне [4] необходимо учитывать теплопроводность материалов объектов наблюдения. Нагреваясь от солнечных лучей, они к отраженному свету добавляют повышающуюся с ростом температуры долю собственных излучений. В связи с этими свойствами в инфракрасном диапазоне появляется дополнительный признак – температура различных участков поверхности объекта по отношению к температуре фона.

Зрительный анализатор человека не воспринимает лучи в инфракрасном диапазоне. Поэтому видовые демаскирующие признаки в этом диапазоне добываются с помощью специальных приборов (ночного видения, тепловизоров), имеющих худшее разрешение, чем глаз человека. Кроме того, видимое изображение на экранах этих приборов одноцветное. Но изображение в инфракрасном диапазоне может быть получено при малой освещенности объекта или даже в полной темноте, а к демаскирующим признакам добавляются признаки, характеризующие температуру поверхности объекта.

В радиодиапазоне [5] наблюдается более сложная картина, чем при отражении света. Отражательные возможности поверхности в этом диапазоне определяются, кроме указанных для света, ее электропроводностью и конфигурацией относительно направления падающей волны. Большая часть суши отражает электромагнитную волну в радиодиапазоне диффузно, спокойная водная поверхность – зеркально.

Радиолокационное изображение объектов сложной формы (автомобиль, самолет и др.) формируется совокупностью отдельных пятен различной яркости, соответствующих так называемым «блестящим точкам» объектов, отражающих сигнал в направлении радиолокационной станции (РЛС). «Блестящие точки» на экране локатора создают элементы поверхности объектов, расположенные перпендикулярно направлению облучения, а также элементы конструкции, которые после переотражений радиоволн внутри конструкции возвращают их к радиолокатору [5].

В инфракрасном и радиодиапазонах отсутствует такой информативный признак как цвет. С увеличением длины волны ухудшается разрешение значений признаков, например, точность оценки размеров объекта и его деталей. Если в инфракрасном диапазоне по изображению можно измерять объекты на местности с точностью до долей мм, то максимальное разрешение радиолокационных станций составляет единицы метров. Поэтому на радиолокационном изображении будут отсутствовать многие детали объекта, наблюдаемые на его изображении в оптическом диапазоне. Однако в инфракрасном и радиодиапазонах проявляются дополнительные признаки, которые в видимом диапазоне отсутствуют.

Любой объект наблюдения можно рассматривать как сложный объект, состоящий из более простых объектов, содержащих не только свои демаскирующие признаки, но и демаскирующие признаки сложного объекта. Подвижные цели обнаружить легче, путем работы заранее расположенных датчиков, специальной аппаратуры, БПЛА по пути движения целей.

Однако более проблематичным является обнаружение неподвижных целей. При этом для неподвижных целей характерно, что двигатель (силовая установка) могут быть включены для работы механизмов зарядки ствольных систем и их наведения, механизмов поворота башни, радиостанций и т.д. [6].

В настоящей статье не рассматриваются приборы и датчики, фиксирующие акустические возмущения. Однако известные методики осуществимы при условии наличия так называемых звуковых портретов целей. Именно решению этой задачи посвящена статья.

С целью получения данных для звуковых портретов целей была поставлена задача экспериментального исследования бронетранспортеров БТР-60ПБ и БТР-80 на полигоне Академии внутренних войск МВД Украины.

Работы проводились в один день, с помощью прибора "Шум-1М30". Для решения поставленной задачи было проведено несколько экспериментальных исследований, по три измерения по шкалам А, В, С, которые осреднялись (табл. 1,2) и включали следующие основные этапы:

1. Установка БТРа на горизонтальной площадке.
2. Прогрев двигателя.
3. Подготовка шумомера к работе (его внешний осмотр и опробование).
4. Определение электрических частотных характеристик шумомера по шкалам А, В, С.
5. Обработка результатов наблюдений.

Шумомер 2-го класса "Шум-1М30" (далее по тексту шумомер) предназначен для измерения эффективных значений уровней стационарных не импульсных звуков (шумов) в децибелах частотных характеристик (А,Б,С) относительно порогового значения, равного $2 \cdot 10^{-5}$ Па (рис. 2).

Принцип его работы основан [7] на измерении электрического сигнала, поступающего с конденсаторного микрофона, пропорционального звуковому давлению акустических шумов. Измеряемый уровень звука равен сумме величин на шкале переключателя "ДИАПАЗОН" и на шкале измерительного прибора, при положениях переключателя рода работ в положении А, Б, С.

Шумомер соответствует ГОСТу 1787-71. Питание шумомера осуществляется от 2 батарей типа Крона-ВЦ (ГОСТ 17659-79), его частотный диапазон составляет от 31,5 до 8000 Гц.

Работа проводилась при нормальных условиях в соответствии с паспортными данными прибора (рис.3): температура окружающего воздуха, °С – 20; атмосферное давление, кПа(мм рт.ст.) – 100 (750); напряжение питания батарей, В – 17,5; влажность воздуха, % – 50; ветер умеренный, м/с – 2–5 (рис. 3).

Измерения уровня звука бронетранспортера с работающим двигателем но без нагрузки (при частоте вращения коленвала 1000 об./мин) производились по полярным углам от 0° до 180° и от 0° до -180° (всего 16 положений), при этом шумомер устанавливался на расстоянии 1 метра от поверхности земли и бронетранспортера (рис. 4).



Рисунок 2 – Общий вид прибора Шум – 1М30



Рисунок 3 – Проведение эксперимента

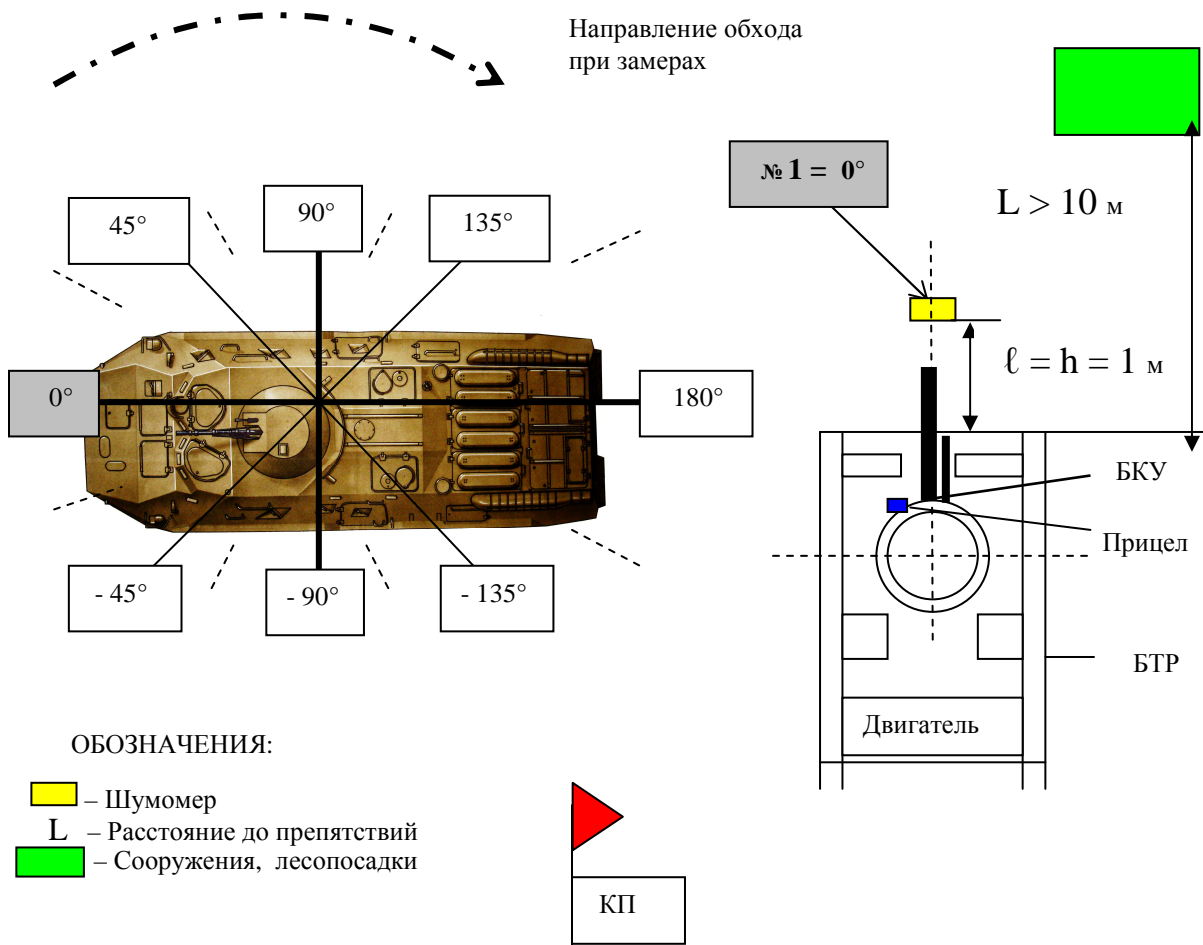


Рисунок 4 – Схема проведения эксперимента

В результате измерения были получены данные для БТР-60ПБ и БТР-80:

а). Для БТР – 80

Таблица 1

<	А	В	С
0	64	61	69
30	51	63	74
45	58	70	76
60	61	66,5	76
90	61	68	77
120	67,5	73	82
135	67	75	87
150	69	77	89
180	72	76	84
-150	68,5	77	88,5
-135	67	75,5	86
-120	66	73	82
-90	64	69	79
-60	62,5	68	78
-45	61	67	78
-30	60	65	73

б). Для БТР-60 ПБ

Таблица 2

<	А	В	С
0	61	68	82
30	65	78	86
45	66	77	85
60	66	77	87
90	66,5	78	88
120	69	79	89,5
135	74	82	93
150	76	86	94
180	82	85	93
-150	76	85	96
-135	76	84	94
-120	73	82	93
-90	67,5	78	89
-60	66	76,5	87,5
-45	64	77	88
-30	65	76	85

Полученные первичные данные использовались для построения полярных диаграмм (рис. 5):

Как видно из приведенных данных, на полярах они не симметричны относительно продольной оси БТР. Такая асимметрия, видимо, связана с различной комбинацией расположения звукопоглощающих перегородок, элементов конструкции и источников акустических полей [8].

Анализ этой асимметрии необходимо рассмотреть со стороны конструктивно-компоновочной схемы БТР при решении задачи снижения акустической заметности. Поскольку любые особенности акустических портретов являются дополнительным источником информации при идентификации цели.

В статье не рассматриваются приборы и датчики, фиксирующие акустические возмущения. Эта задача решается путем создания информационного блока, содержащего акустические портреты целей.

Выводы

Впервые экспериментально, с помощью прибора "Шум-1М30", были определены акустические портреты объектов отечественной бронетехники БТР-60ПБ и БТР-80. Эти данные составляют фактическую основу для практического осуществления системы акустической разведки целей, которая может быть использована на объектах бронетехники.

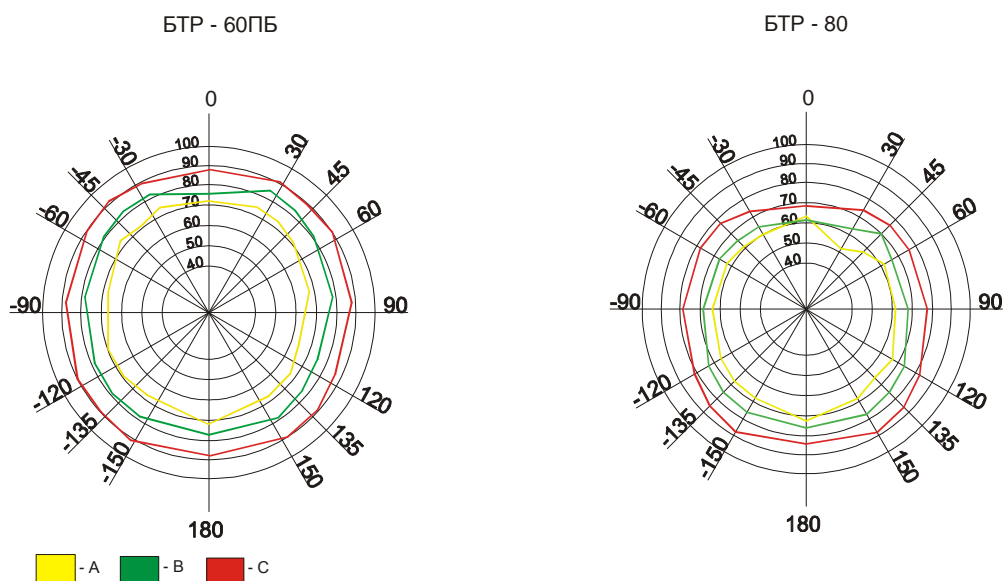


Рисунок 5 – Полярные диаграммы

Литература

1. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. М.: Советское радио, 1977.
2. Анипко О.Б., Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники. Монография. Х.: НТУ “ХПИ”, 2008.– 196 с.
3. Бекетов А.А., Белоконь А.П., Чермашенцев С.Г. Маскировка действий подразделений СВ. М: Воен. Изд., 1976 – 140 с.
4. Анипко О.Б. Показатель инфракрасной заметности боевых летательных аппаратов для оценки влияния конструктивно-компоновочных решений на заметность / О.Б. Анипко, Е.А. Украинец // Интегровані технології та енергозбереження. – Х.: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – 2009. – № 2. – С. 100–103.
5. 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. – 487 с.
6. Анипко О.Б., Борисюк М.Д., Бусяк Ю.М. Комплексная проблема поиска и обнаружения наземных целей для поражения вооружением, установленным на объектах бронетехники. // Сбірник наукових праць АВВ МВС України. – Вип. № 2(18). – Х., 2011. – С. 24–31.
7. Паспорт. Изделие "Шум-1М30". Запорожье, 1991. – 17.
8. Анипко О.Б., Бирюков И.Ю., Дивизнюк М.М. Акустические свойства атмосферы. // Сборник трудов СНУЯЭиП. – Вып. № 4(36). – Севастополь, 2010. – С. 239–244.

Bibliography (transliterated)

1. Abchuk V.A., Suzdal' V.G. Poisk ob"ektov. M.: Sovetskoe radio, 1977.
2. Anipko O.B., Borisjuk M.D., Busjak Ju.M. Konceptual'noe proektirovanie ob"ektov bronetankovoj tehniki. Monografija. H.: NTU “HPI”, 2008.– 196 p.
3. Beketov A.A., Belokon' A.P., Chermashencev S.G. Maskirovka dejstvij podrazdelenij SV. M: Voen. Izd., 1976 – 140 p.
4. Anipko O.B. Pokazatel' infrakrasnoj zametnosti boevyh letatel'nyh apparatov dlja ocenki vlijanija konstruktivno-komponovocznyh reshenij na zametnost' O.B. Anipko, E.A. Ukrainec Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – H.: Nacional'nij tehnicnij universitet «Harkivs'kij politehni-chnij institut». – 2009. – # 2. – p. 100–103.
5. Rassejanie jelektromagnitnyh voln vozduzhnymi 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. – 487 p.

6. Anipko O.B., Borisjuk M.D., Busjak Ju.M. Kompleksnaja problema poiska i obnaruzhenija nazemnyh celej dlja porazhenija vooruzheniem, ustanovlennym na ob"ektah bronetehniki. Sbirnik naukovih prac' AVV MVS Ukraïni. – Vip. # 2(18). – H., 2011. – p. 24–31.

7. Pasport. Izdelie "Shum-1M30". Zaporozh'e, 1991. – 17.

8. Anipko O.B., Birjukov I.Ju., Diviznjuk M.M. Akusticheskie svojstva atmosfery. Sbornik trudov SNUJaJeiP. – Vyp. # 4(36). – Sevastopol', 2010. – p. 239–244.

УДК 355.40; 534.6; 623.4

Аніпко О.Б., Бірюков І.Ю., Бусяк Ю.М.

**ЗВУКОВІ ПОРТРЕТИ ОБ'ЄКТІВ БРОНЬОВАНОЇ ТЕХНІКИ
ДЛЯ ЇХ ЗНАХОДЖЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ**

В статті розглянута структура інформаційного блока системи звукової розвідки наземних цілей, для ідентифікації котрих в ньому маються акустичні портрети цілей.

Anipko O., Birukov I., Busjak J.

ARMORED VEXICIES SONIK PICTYRES FOR THEIR DETECTION AND IDENTIFICATION

The article proposes the creation of an information block of acoustic characteristics of goals, which is created with the help of instruments and sensors, focusing acoustic disturbance.

УДК 66.01

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ СИСТЕМ

Теплообменное оборудование является одной из важнейших составных частей любого энергоемкого производства. Зачастую удачная организация процессов теплообмена во многом предопределяет технологическую эффективность, энергосбережение и экологическую безопасность производства. Тенденция к наиболее полному использованию располагаемой тепловой энергии приводит к созданию теплообменных комплексов со сложной конфигурацией потоков или установкой систем теплообменных аппаратов. Особенно эффективны такие приемы при наличии группы теплоносителей с различной термодинамической эффективностью. Во многих случаях в теплоносителях возможны фазовые переходы, при появлении которых изменяются качественные и количественные характеристики теплообмена. В таких условиях возникает комплекс задач связанных с оптимизацией всех видов затрат на теплообмен, важность решения которых резко усиливается при модернизации теплообменного узла при замене старого оборудования на новое более эффективное. В этих условиях, особенно для энергоемких производств, моделирование и оптимизация систем теплообменного оборудования является актуальной задачей.

Для технико-экономической оптимизации отдельного теплообменного аппарата наиболее часто используют целевую функцию приведенных затрат [1] и формулируют задачу минимизации приведенных затрат C_{mc} . При модернизации или проектировании теплообменного узла с установкой пластинчатого теплообменного оборудования, целевая функция может быть представлена в виде

$$C_{mc} = C_{op} + E \cdot C_{he},$$

где $C_{op} = C_{tr} + C_{use}$ – полные эксплуатационные затраты; C_{tr} – транспортные расходы или стоимость прокачивания греющего и нагреваемого теплоносителей через аппарат в течение предполагаемого срока эксплуатации; C_{use} – эксплуатационные расходы на поддержание работоспособности теплового узла; C_{he} – стоимость пластинчатого теплообменника с учетом налога на добавленную стоимость, доставкой, установкой и обвязкой; E – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, который обычно трактуется как величина обратная нормативному сроку окупаемости внедряемого оборудования. В каждом конкретном случае коэффициент E в расчетах может принимать свое значение, как правило, эта величина берется равной 0,25–0,15, что соответствует сроку окупаемости от 4 до 6,7 лет.

Иногда к приведенным затратам относят стоимость теплоносителей участвующих в теплообмене. В данной постановке задачи, когда число теплоносителей и их стоимость определяются не процессом теплообмена, а массовым и тепловым балансом некоторой системы, куда входит теплообменный узел, эту стоимость можно не учитывать.

В случае изменений условий эксплуатации по годам, для определения приведенных затрат сопоставляемых вариантов теплообменной системы за период n лет при приведении к последнему году расчетного периода, используют соотношение вида

$$C_{mc} = E \cdot \sum_{i=1}^n (C_{opi} + C_{he i}) (1 + E_p)^{n-i} + C_{norm},$$

где C_{opi} – эксплуатационные издержки за i -й год; $C_{he i}$ – капиталовложения за i -й год; C_{norm} – ежегодные издержки нормальной эксплуатации в $n+1$ и всех последующих годах; E_p – нормативный коэффициент приведения разновременных затрат.

Естественно для экономической оптимизации имеет смысл в начале оценить потенциал различных видов теплопередачи, после чего определиться с выбором экономического критерия и входящих в его состав величин. Это во многом может облегчить подготовку исходной экономической информации, которая не только определяет конечный результат оптимизации, но и зачастую и основную трудоемкость процесса.

Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования C_{use} обычно представляют в виде [2]

$$C_{use} = C_{ex} + A_m,$$

где C_{ex} – собственно затраты на эксплуатацию теплообменника; A_m – норма амортизационных отчислений на теплообменник, перекачивание теплоносителей и т.п. Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования являются функцией стоимости теплообменника, включая его монтаж, обвязку и трубопроводы, т.е. $C_{use} = f(C_{he})$. Если учитывать только амортизационную составляющую, то

$$C_{use} \approx A_m \cdot C_{he}.$$

В такой постановке приведенные затраты, как критерий оптимизации, можно записать в виде уравнения

$$C_{mc} = C_{ir} + C_{hc} + C_{cl} + C_{use} + (A_m + E) \cdot C_{he},$$

где приближенно можно принять $A_m \approx 0,05$, $E \approx 0,15$.

Поверхность теплообмена может быть запроектирована с учетом запаса, связанного с условиями эксплуатации аппарата и перспектив развития производства. Хотя это расчетная величина, однако, ее можно представить в следующем виде

$$F_{he} = F \cdot \left(1 + \frac{mar_d}{100} + \frac{mar_{cl}}{100} \right),$$

где F – расчетная поверхность теплообмена; mar_d – проектный коэффициент запаса, %; mar_{cl} – коэффициент, учитывающий запас поверхности по отношению к расчетной для продления срока эксплуатации теплообменника, в связи со снижением коэффициента теплопередачи из-за загрязнений поверхности теплообмена, %.

Предельный запас поверхности mar_{lim} по сравнению с проектным запасом, который определяется из условия минимума затрат на чистку поверхности теплообменного аппарата, обычно определяется из равенства

$$mar_{lim} > F \cdot mar_d \cdot C_{m^2} \cdot A_{new},$$

где C_{m^2} – стоимость 1 м² теплообменной поверхности; A_{new} – новые амортизационные затраты на эксплуатацию аппарата.

Поверхность теплопередачи пластинчатого теплообменного аппарата в общем случае можно представить как функцию, зависящую от трех параметров

$$F = f(\Delta p_h, \Delta p_c, \Delta t_{in}),$$

где $\Delta p_h, \Delta p_c$ – гидравлическое сопротивление или потери давления по греющей и нагреваемой стороне; Δt_{in} – средний температурный перепад. В большинстве технических приложений величина Δt_{in} задается из требований соблюдения технологического процесса и является фиксированной. Поэтому в реальных условиях поверхность пластинчатого теплообменного аппарата определяется допустимым гидравлическим сопротивлением, более которого потери давления в аппарате не допускаются

$$\Delta p_1 \leq [\Delta p_1] \text{ и } \Delta p_2 \leq [\Delta p_2],$$

$[\Delta p_1], [\Delta p_2]$ – допустимые потери давления в теплообменнике.

Обычно при проектировании теплообменника один из теплоносителей должен максимально удовлетворять заданным потерям давления [3], и этот теплоноситель, который, как правило, связан с технологическими параметрами процесса, определяет гидравлический и тепловой режим работы аппарата. Следовательно, задача определения минимальной поверхности теплообмена сводится к определению оптимального гидравлического сопротивления по одному из теплоносителей.

Стоимость теплоносителей определяется не процессом теплообмена, а технологией, а именно материально-техническим балансом того процесса, в котором участвует теплообменник. Поэтому стоимость теплоносителей можно не учитывать, в отличие от стоимости транспортных расходов, которые напрямую зависят от гидравлического сопротивления. Кроме того, при работе пластинчатого теплообменника как таковые затраты на обслуживание отсутствуют или могут быть включены в затраты на чистку пла-

стин, включая разборку и сборку аппарата, дефектацию пластин, их замену, замену прокладок с их вклеиванием при необходимости. В таком случае уравнение для приведенных затрат можно переписать в виде

$$C_{mc} = C_{tr} + C_{cl} + 0,2 \cdot C_{he}.$$

Наличие многих факторов при оптимальном проектировании системы теплообменников требует получения комплексной оценки качества, что возможно лишь при применении методологии многоцелевого проектирования. К сожалению, в настоящее время существует недостаток в методиках количественной оценки инвестиционных проектов и рисков инвестиционных проектов на основе многоцелевой оптимизации. Это объясняется, прежде всего, сложностью комплексной оценки эффективности капитальных вложений.

В настоящее время являются актуальными некоторые недостаточно изученные в литературе вопросы реализации подхода многоцелевого программирования:

- развитие теоретических и практических подходов по обоснованию выбора критериев и показателей экономической эффективности модернизации теплообменных систем;
- разработка методик назначения коэффициентов веса и математических методов решения технико-экономических задач в рамках многоцелевого программирования;
- отсутствие достоверных практических показателей экономической эффективности реализации проектов.

Рассмотрим последовательную установку для n – ступенчатого нагрева некоторой жидкости представленной на рис. 1. Каждая ступень представляет собой пластинчатый теплообменник, в который входит поток горячего теплоносителя (например, пара), нагревающий поток холодного теплоносителя до некоторой температуры.

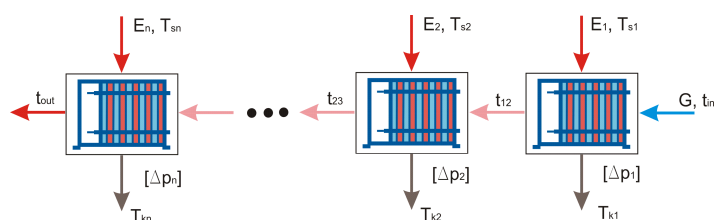


Рисунок 1 – Структурная схема последовательно установленной группы подогревателей

Для схемы на рис. 1 приняты следующие обозначения: G, t_{in}, t_{out} – расход, входная и выходная температура нагреваемого теплоносителя; E_i, T_{si} – расход и входная температура греющего теплоносителя на i -ой ступени; T_{ki} – выходная температура греющего теплоносителя. Процесс передачи тепла на каждой ступени описывается соотношениями $Q_i = K_i \cdot F_i \cdot \Delta t_i$, где для теплообмена жидкость-жидкость $\Delta t_i = [(T_i - t_i) - (T_k - t_{i-1})] / \ln \frac{T_i - t_i}{T_k - t_{i-1}}$, для теплообмена пар-жидкость $\Delta t_i = (t_i - t_{i-1}) / \ln \frac{T_i - t_i}{T_{ki} - t_{i-1}}$.

С другой стороны тепловая нагрузка для теплообмена жидкость-жидкость $Q_i = G \cdot c_{pi} \cdot (t_i - t_{i-1}) = E_i \cdot c_{pi} \cdot (T_i - T_{ki})$, или для теплообмена пар-жидкость $Q_i = r_i E_i$, где c_{pi}, c_{pki} – средняя удельная теплоемкость нагреваемого и греющего теплоносителя в i -ом аппарате; r_i – удельная теплота конденсации.

В этих соотношениях принято: Q_i – количество тепла, передаваемого i -ой ступенью; F_i, K_i – площадь теплообмена и коэффициент теплопередачи i -ой ступени. Общее соотношение теплового баланса имеет вид

$$Q = G \cdot c_{av} \cdot (t_{out} - t_{in}) = \sum_{i=1}^n r_i E_i,$$

где c_{av} – средняя удельная теплоемкость нагреваемого теплоносителя в n ступенях.

Подобная постановка задачи для 3-х ступенчатого охлаждения парового потока представлена в [4], где для нее сформулирована задача оптимизации. Главными недостатками постановки задачи [4] являются: сложность практического применения и отсутствие соотношений, связанных с потерей давления теплоносителями при прохождении через теплообменники. Необходимо заметить, что при проектирова-

нии и расчете пластинчатых теплообменников эта величина играет не менее существенную роль, чем тепловая нагрузка, и во многих случаях выполнение условия не превышения потерь давления в аппарате определяет величину поверхности теплообмена.

В общем случае ограничения на проектируемую группу теплообменников могут быть заданы по тепловой нагрузке, расходам греющего теплоносителя и по потерям давления при прокачивании теплоносителей. Эти условия можно сформулировать следующим образом.

По тепловой нагрузке

$$\sum_{i=1}^n Q_i \geq Q, \quad (1)$$

по расходам греющего теплоносителя

$$E_i \leq [E_i], \quad (2)$$

по потерям давления

$$\Delta p_i \leq [\Delta p_i] \text{ или } \sum_{i=1}^n \Delta p_i \leq [\Delta p], \quad (3)$$

где Δp_i – потери давления в i -ом теплообменнике; $[\Delta p_i]$ – допустимые потери давления в i -ом теплообменнике; $[\Delta p]$ – общие допустимые потери давления в системе из n аппаратов.

Рассмотрение работы теплообменников в целом позволяет отчетливо выделить два уровня: верхний или первый, на котором рассматривается система в целом и рассчитывается материальный и тепловой баланс, и нижний (второй), на котором проектируются или модернизируются сами теплообменные аппараты. В такой постановке не учитывается тот факт, что сама система теплообменников входит как составная часть или агрегат другой системы.

Расчет системы в целом, прежде всего, зависит от вида теплоносителей участвующих в теплообмене. Будем различать системы установленных пластинчатых теплообменных аппаратов по признаку теплоносителей:

- теплообмен «жидкость–жидкость» во всех теплообменниках системы;
- теплообмен «пар–жидкость» во всех теплообменниках системы;
- смешанный теплообмен – часть аппаратов «жидкость–жидкость» и часть – «пар–жидкость».

Введение такой классификации связано с принципиальным различием в расчете пластинчатых теплообменников «жидкость–жидкость» и «пар–жидкость», где имеется фазовый переход, связанный с конденсацией пара внутри аппарата. Кроме того, это накладывает некоторые ограничения по температуре и потерям давления, а также на применяемые марки теплообменников.

Проектирование или модернизация системы подогревателей или охладителей представляет собой решение задачи оптимизации с использованием экономико-математической модели. В таких моделях проектирования и управления решающее значение имеет выбор критерия оптимальности, позволяющий определить оптимальное техническое решение.

Различают два вида критерия оптимальности – натуральные и экономические [2]. В настоящей работе будут рассмотрены некоторые натуральные критерии оптимальности, которые в большинстве практических приложений наиболее полно отвечают физическому смыслу и имеют свои экономические аналоги. Поэтому в дальнейшем натуральные критерии оптимальности будут вводиться совместно с экономическими.

Критерий минимальной суммарной площади теплопередающей поверхности всех аппаратов и критерий минимальных капитальных затрат. Математически такая постановка задачи может быть сформулирована в виде:

$$\sum_{i=1}^n F_i \rightarrow \min, \quad (4)$$

в качестве ограничений принимаются ограничения (1), (3) и условие выполнения заданной выходной температуры из системы теплообменников t_{out} .

Критерий минимальных эксплуатационных затрат в виде

$$\sum_{i=1}^n C_i \rightarrow \min, \quad (5)$$

где C_i – стоимость i -го теплообменника с доставкой, установкой, обвязкой и пуском, с теми же ограничениями близок к критерию минимальной площади. Однако стоимость пластинчатого теплообменного аппарата состоит из стоимости пакета пластин и рамы, которые по своей цене могут значительно отличаться для различных типоразмеров аппаратов. Иными словами может возникнуть ситуация, когда теплообменник с большей площадью теплопередающей поверхности, но меньшего типоразмера будет стоить меньше, чем теплообменник с меньшей площадью, но большего типоразмера.

В постановках (4) или (5) существеннейшую роль играют суммарные допустимые потери давления или допустимые потери давления на каждый аппарат. Последние в значительной степени могут определять площадь теплопередающей поверхности (величину пакета пластин в аппарате), что в свою очередь определяет величину эксплуатационных затрат, связанных на прокачивание теплоносителей через теплообменники. Незначительные допустимые потери давления на теплообменнике существенным образом увеличивают площадь пакета пластин (его стоимость). В подавляющем большинстве случаев в качестве исходной информации известна общая допустимая величина потерь давления на все n теплообменников, определяемая установленным или запроектированным насосным оборудованием. Очевидным является также то, что чем меньше преодолеваемый на прокачивание теплоносителя напор, тем меньше будут затраты на это.

Затраты теплоносителя на обогрев или охлаждение определяются из общего теплового баланса системы подогревателей и имеет смысл их рассматривать только в случае, когда на каждый из теплообменников системы приходит теплоноситель с разной температурой T_{si} , рис. 1. Иными словами, если греющий теплоноситель на каждой ступени имеет одинаковую температуру, то минимизировать нечего так, как его расход жестко определяется из теплового баланса. Если температуры разные, то можно сформулировать задачу минимизации расходов греющего теплоносителя на каждой ступени за счет выбора оптимального значения температуры нагреваемого теплоносителя между ступенями или задачу минимизации расхода на какой-либо ступени (теплообменнике) отдельно.

Математически такая постановка задачи может быть сформулирована следующим образом

$$\sum_{i=1}^n E_i \rightarrow \min, \quad (6)$$

в качестве ограничений принимаются ограничения (1), (3) и условие выполнения заданной выходной температуры из системы теплообменников t_{out} . Критерий минимальных эксплуатационных затрат, по всей видимости, дает хорошие результаты в случае реконструкции или модернизации производства, когда имеются установленные подогреватели или охладители и решается задача энергосбережения (экономии) производства. Существенным преимуществом использования в такой схеме пластинчатых теплообменных аппаратов является возможность изменения (прежде всего наращивания) теплопередающей поверхности путем добавления (извлечения) пластин. В практических приложениях часто встречаются задачи, связанные с экономией какого-либо одного из теплоносителей на отдельной ступени, например ретурного пара.

Критерий приведенных затрат. Для непосредственного выбора оптимального варианта используют показатели сравнительной эффективности, которые входят в критерий минимизации приведенных затрат C_{mc} , который для системы последовательно установленных теплообменников имеет следующий вид

$$C_{mc} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot C_i + \sum_{i=1}^n E_i \cdot c_i \cdot \tau_i + G \cdot \sum_{i=1}^n \Delta p_i \rightarrow \min, \quad (7)$$

где N_i – нормативный коэффициент окупаемости и амортизации i -го теплообменника; c_i – стоимость единицы греющего (охлаждающего) теплоносителя для i -го аппарата; τ_i – продолжительность годовой эксплуатации i -го теплообменника. В соотношении все входящие величины известны из постановки задачи, либо могут быть рассчитаны, кроме нормативного коэффициента окупаемости или нормативной эффективности – N_i .

Фактично співвідношення (7) забезпечує пошук оптимального рішення, що зв'язує поточні витрати в процесі експлуатації з одночасними витратами на виробництво, тобто собівартістю і капітальними вкладеннями. Іншими словами досягнення оптимального співвідношення між поточними і одночасними витратами на виробництво забезпечує максимальний ефект з нормативною ефективністю N_i не менше заданої. Можна записати, що оптимальне співвідношення між витратами поточних засобів і одночасних витрат в вигляді

$$N = \sum_{i=1}^n \Delta D_i / \Delta C_i, \quad (8)$$

де ΔD_i – зміна поточних витрат; ΔC_i – зміна капітальних витрат. З співвідношення (8) можна побачити, що зменшення складових річних витрат може бути отримано шляхом збільшення вартості системи теплообмінних апаратів.

Критерій приведених витрат є економічним критерієм, який відображає не тільки результат оптимізації, але і витрати на отримання цих результатів.

Постановка задачі багатопараметричної оптимізації. В більшості практичних випадків зв'язаних з модернізацією виробництва, наприклад, заміни кожухотрубчатого обладнання на пластинчасте, переслідуються дві основні цілі: мінімізувати капітальні вкладення на встановку нового обладнання і разом з тим постаратися знизити експлуатаційні витрати за період роботи цього обладнання. В принципі це два взаємовиключаючі вимоги, між якими необхідно знайти певний компроміс, що дозволяє оптимізувати рішення. Сформулюємо компромісну цільову функцію U відносно параметрів x_k в вигляді

$$U = \sum_{k=1}^K \alpha_k \left(\frac{x_k}{x_{kn}} \right) \rightarrow \min (\max), \quad (9)$$

де K – загальне число параметрів; α_k – вагові коефіцієнти, які повинні задовольняти вимогу $\sum_{k=1}^K \alpha_k = 1$; x_{kn} – нормуюча величина, що забезпечує приведення всіх параметрів, які мають різну розмірність, до безрозмірного виду. Вагові коефіцієнти α_k забезпечують можливість призначення відносної важливості кожного параметра, що по суті і визначає компроміс.

Таким чином, для оптимізації такої цільової функції необхідно мати додаткові величини x_{kn} і α_k . Значення нормуючої величини x_{kn} визначається різними способами, наприклад, приймається з затвердженого технічного завдання. Якщо такої затвердженої величини немає, то частіше всього вирішують задачу оптимізації для кожного з параметрів окремо і отримане рішення в результаті оптимізації приймають за нормуюче значення.

Для задачі багатопараметричної оптимізації по капітальним і експлуатаційним витратам співвідношення (9) можна представити в вигляді

$$\sum_{i=1}^n \alpha_{ci} \frac{C_i}{C_{ni}} + \sum_{i=1}^n \alpha_{Ei} \frac{E_i}{E_{ni}} \rightarrow \min, \quad (10)$$

де C_{ni} – нормуюча величина, отримана при розв'язанні задачі мінімізації капітальних витрат; E_{ni} – нормуюча величина, отримана при розв'язанні задачі мінімізації експлуатаційних витрат. Вагові коефіцієнти повинні підкорятися співвідношенню

$$\sum_{i=1}^n \alpha_{ci} + \sum_{i=1}^n \alpha_{Ei} = 1.$$

Якщо прийняти, що для всіх i -их теплообмінників коефіцієнти ваги, що відповідають капітальним і експлуатаційним витратам рівні, то співвідношення (10) можна переписати в вигляді

$$\alpha_c \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{ni}} + \alpha_E \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_{ni}} \rightarrow \min ,$$

где $\alpha_C + \alpha_E = 1$. Назначение весовых коэффициентов производится в каждом конкретном случае с использованием экспертных оценок. Степень важности капитальных или эксплуатационных затрат в подавляющем большинстве случаев определяется финансовыми возможностями модернизации или нового проектирования.

Выводы. Решение задачи технико-экономической многопараметрической оптимизации системы теплообменных аппаратов по критерию приведенных затрат должно опираться на точно известные расчетные финансовые характеристики затрат. В качестве нормирующих величин могут быть заданы нормативные значения или использоваться полученное решение оптимизационных задач минимума капитальных и эксплуатационных затрат. Весовые коэффициенты назначаются экспертами, исходя из финансовых ограничений на каждую из составляющих целевой функции.

Литература

1. Каневец Г.Е. Теплообменники и теплообменные системы.– Киев: Наук. Думка, 1981.– 272 с.
2. Лapidус А.С. Экономическая оптимизация химических производств. – М.: Химия, 1986.– 208 с.
3. Пластинчатые теплообменники в теплоснабжении /Л.Л. Тovaжнянский, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева. – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2007.– 448 с.
4. Кафаров В.В., Перов В.Л., Мешалкин В.П. Принципы математического моделирования химико-технологических систем.– М.: Химия, 1974.– 210 с.
5. Арсеньева О.П., Демирский А.В., Хавин Г.Л. Один подход к расчету оптимального пластинчатого теплообменника // Пробл. машиностроения, 2011.– №1.– С. 37–46.
6. Арсеньева О.П., Демирский А.В., Хавин Г.Л. Выбор оптимальных параметров двухступенчатых пластинчатых подогревателей // Интегрированные технологии и энергосбережение, 2011.– №1.– С. 95–103.

Работа выполнена при финансовой поддержке Европейского сообщества в рамках проекта EU project FP7-SME-2010-1-262205-INHEAT.

Bibliography (transliterated)

1. Kanevec G.E. Teploobmenniki i teploobmennye sistemy.– Kiev: Nauk. Dumka, 1981.– 272 p.
2. Lapidus A.S. Jekonomicheskaja optimizacija himicheskikh proizvodstv. – M.: Himija, 1986.– 208 p.
3. Plastinchatye teploobmenniki v teplosnabzhenii L.L. Tovazhnyanskij, P.A. Kapustenko, G.L. Havin, O.P. Arsen'eva. – Har'kov: NTU „HPI”, 2007.– 448 p.
4. Kafarov V.V., Perov V.L., Meshalkin V.P. Principy matematicheskogo modelirovaniya himiko-tehnologicheskikh sistem.– M.: Himija, 1974.– 210 p.
5. Arsen'eva O.P., Demirskij A.V., Havin G.L. Odin podhod k raschetu optimal'nogo plastinchatogo teploobmennika Probl. mashinostroenija, 2011.– #1.– p. 37–46.
6. Arsen'eva O.P., Demirskij A.V., Havin G.L. Vybora optimal'nyh parametrov dvuhstupenchatyh plastinchatyh podogrevatelej Integrirovannye tehnologii i jenergoberezenie, 2011.– #1.– p. 95–103.

Rabota vypolnena pri finansovoj podderzhke Evropejskogo soobshhestva v ramkah proekta EU project FP7-SME-2010-1-262205-INHEAT.

УДК 66.01

Товажняньський Л.Л., Арсеньєва О.П., Капустенко П.О., Хавін Г.Л.

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОБМІННИХ СИСТЕМ

Сформульовано задачу техніко-економічної багато параметричної оптимізації системи теплообмінних апаратів за критерієм приведених витрат. Розглянуто капітальні та експлуатаційні складові цільової фун-

кції при модернізації виробництва. У якості нормуючих величин запроваджено обирати рішення оптимізаційних задач мінімуму капітальних та експлуатаційних витрат. Вагові коефіцієнти призначаються з фінансових обмежень на кожну з складових цільової функції.

Tovazhniansky L., Arsenyeva O., Kapustenko P., Khavin G.

SIMULATION AND TECHNICOECONOMIC OPTIMIZATION OF HEAT EXCHANGING SYSTEMS

The polyvalent technicoeconomic optimization problem of heat exchangers system by reduced costs criterion is formulated. The capital and operation components of criterion function for retrofit installation are considered. The solutions of optimization problems for minimum capital or operation cost are proposed as norming quantities. The weight ratios are assigning from financial obligations for each component of criterion function.

**МОДЕЛЬ ТЕРМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЕ ПИРОЛИЗНОГО ТИПА**

Несмотря на перспективность внедрения теплогенераторов пиролизного типа (ТПТ) [1–4] и использования этих устройств в различных технологиях, создание их в основном базируется на некоторых частных эмпирических данных без учета теплофизических особенностей биотоплива и взаимовлияний режимно-геометрических характеристик ТПТ. Очевидно, что такое состояние знаний в этой области не позволяет обобщенно, на основе современных способов оптимизации, повысить эффективность генерирования теплоты.

В тех случаях (возможно, наиболее перспективных) [3] когда теплогенератор является одним из блоков автономных мини теплоэлектростанций, необходимость в оптимизации ТПТ становится особо актуальной.

В связи с этим общей задачей исследования (часть результатов которого представлена в настоящей статье) является разработка на основе математического моделирования методики инженерного расчета ТПТ соответствующего параметрического ряда по теплопроизводительности с адаптацией к конкретному виду биотоплива.

Моделирование процессов в камерах пиролиза представляет собой достаточно сложную задачу в силу неопределенности условий протекания процессов во времени и пространстве. Известно, что пиролиз древесины (сухая перегонка древесины) происходит при нагревании до 450 °С без доступа воздуха с образованием газообразных и жидких (в т.ч. древесной смолы) продуктов, а также твердого остатка – древесного угля. При этом древесина разлагается на газообразные продукты (метан, СО, Н₂) и смолы, в состав которых входит фенол, вода, левоглюкозан, ароматические углеводороды и др. вещества.

В настоящее время для анализа процессов горения в различных огнетехнических устройствах широко применяют так называемый CFD подход, который основан на численном решении системы дифференциальных уравнений, состоящих из уравнений движения вязкой жидкости, уравнения энергии, а также дополнительных уравнений для транспорта компонент химических реакций и моделей турбулентности. Непосредственно для описания процессов горения используются различные математические модели, среди которых наибольший интерес для процессов в печах представляет вихревая диссипативная модель (Eddy-Dissipation Model). Главная идея данной модели заключается в том, что скорость химической реакции горения определяется турбулентностью и поэтому расчеты химической кинетики в соответствии законом Аррениуса не проводятся. За счет турбулентности происходит смешение топлива с окислителем и их перемещение в зону реакции, где они сгорают. Таким образом, скорость реакции определяется скоростью перемешивания реагентов.

Непосредственное применение вихревой диссипативной модели для пиролиза древесины не возможно. Поэтому в настоящей работе рассматривается ряд допущений, позволяющих проводить инженерный анализ в пиролизных камерах.

Предметом анализа в данной работе является теплогенератор (рис. 1), состоящий из двух блоков: камеры пиролиза 1 и камеры дожигания пиролизного газа 2. Между камерами в пиролизной плите имеется канал 3 для перепуска пиролизного газа из верхней камеры в нижнюю. В пиролизную камеру загружается древесина, которая в конкретно рассмотренном объекте [4] занимает приблизительно 2/3 объема камеры (загрузочный проем на рисунке не показан). Выгорание 90 % древесины по данным предварительных испытаний [6] происходит примерно в течение 20 мин. Средний расход древесины составляет 0,12 кг/с. Первичный воздух поступает в полость между сводом печи и металлическим корпусом, нагревается и по каналам 4 попадает в камеру 1. Вторичный воздух поступает в камеру 2 через отверстие 5 и струя воздуха рассекает поток перетекающих газов из верхней камеры. Движение воздуха осуществляется за счет разрежения, создаваемого вентилятором-дымососом.

В зависимости от количества первичного воздуха возможны два основных варианта процесса. В первом варианте при ограниченной подаче наружного воздуха в верхней камере происходит термическое разложение топлива, т.е. пиролиз. Во втором варианте при избытке воздуха топливо горит в верхней камере, и дожигание выделившихся газов происходит в нижней камере.

Областями анализа являлись камеры 1 и 2 и система каналов для подвода воздуха, перепуска и отвода газов. Задача теплопроводности в стенках объекта не рассматривалась и, по сути, решалась задача газодинамики, теплообмена и горения газовой среды.

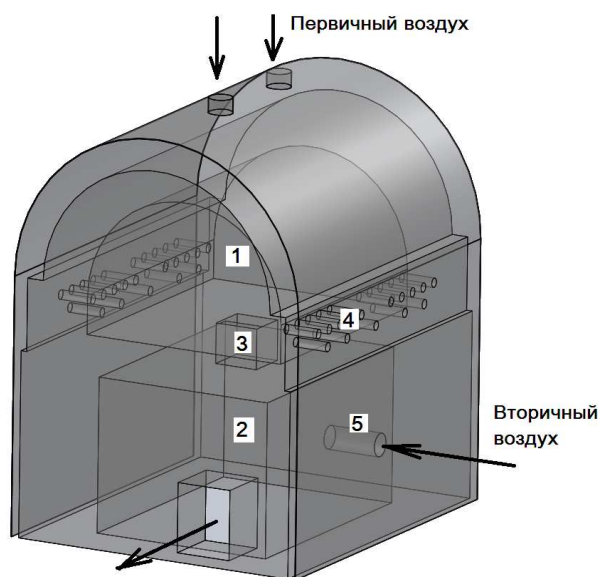


Рисунок 1 – Пиролизная печь

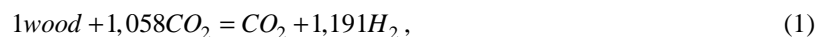
1 – верхняя (пиролизная) камера; 2 – нижняя камера дожига; 3 – канал перпуска пиролизного газа; 4 – каналы подачи первичного воздуха; 5 – канал подачи вторичного воздуха

Все вычисления выполнены в CFD пакете FLUENT (авторы благодарят компании ANSYS и ProcessFlow за возможность воспользоваться CFD-пакетом FLUENT). Расчетная сетка содержала приближенно 700 тысяч тетраэдральных и гексаэдральных элементов.

В общем случае размеры кусков дерева и их размещение в камере 1 может быть достаточно различным и меняющимся от загрузки к загрузке. Это существенно усложняет математическое описание процесса и заставляет использовать некоторые осредненные характеристики топлива. В связи с этим камера 1 условно рассматривалась заполненной некоторой пористой средой с пористостью 0,5 и коэффициентом сопротивления – 20. Эти значения в соответствии с [5] относятся к засыпке с размером частиц порядка 50 мм.

Предполагалось также, что в камере 1 происходит выделение летучих веществ, т.е. пиролизного газа. На самом деле в камере 1 происходит выделение и частичное горение пиролизного газа, а также горение твердого остатка. Моделирование столь сложного процесса невозможно и поэтому реальный процесс был заменен условным. При этом ставилась цель, чтобы в тепловом отношении оба процесса (реальный и условный) приближались друг к другу. Поэтому в качестве топлива задавалась древесная стружка.

Стехиометрическое уравнение горения стружки было задано в соответствии с рекомендациями FLUENT как



т.е. один моль древесины с некоторыми осредненными теплофизическими свойствами вступал в реакцию с 1,058 молями кислорода. Очевидно, что замена реальной древесины стружкой достаточно условна и поэтому необходим тщательный анализ такого перехода. В настоящей работе излагаются только первые результаты такого анализа.

Несмотря на значительное число работ по пиролизу, все они носят в основном описательный характер. Один из возможных подходов при моделировании предполагает использование зависимости скорости выхода горючих веществ от температуры. Опираясь на экспериментальные данные для рассматриваемой установки [6], удалось определить, что расход топлива, отнесенный к объему пиролизной камеры, составляет $0,067 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^3)$. Полагая также, что термическое разложение древесины, т.е. пиролиз, становится заметным при 450 К, было принято, что величина объемного источника горючих веществ m , $(\text{кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^3))$, может быть отражена зависимостями вида

$$\begin{aligned} m &= 0 && \text{при } T \leq 773; \\ m &= 120(T - 773) && \text{при } 773 < T \leq 1273 \\ m &= 0,06 && \text{при } T > 1273. \end{aligned} \quad (2)$$

Режим работы печи зависит от расходов первичного и вторичного воздуха, регулирование которыми осуществляется соответствующими заслонками.

Рассмотрим вначале режим с расходом первичного воздуха равным $G_1 = 0,058$ кг/с и вторичного – $G_2 = 0,376$ кг/с. При таком соотношении расходов печь работает в штатном режиме. В верхней камере происходит горение с недостатком кислорода. Температура в области струй первичного воздуха находится на уровне 900 К (рис. 2). В верхней части камеры она равняется 700 К. При этом происходит выделение горючих элементов, которые окончательно сгорают в нижней камере. Максимальная температура здесь достигает 2500 К. Интересно отметить, что в струе вторичного воздуха температура составляет 700 К. Средняя по объему температура в камере 1 равняется 777 К, а в камере 2 – 2150 К. Расход топлива равняется 0,034 кг/с, что несколько меньше опытного значения. Массовая доля CO_2 на выходе из печи составляет 0,204, а паров воды – 0,099.

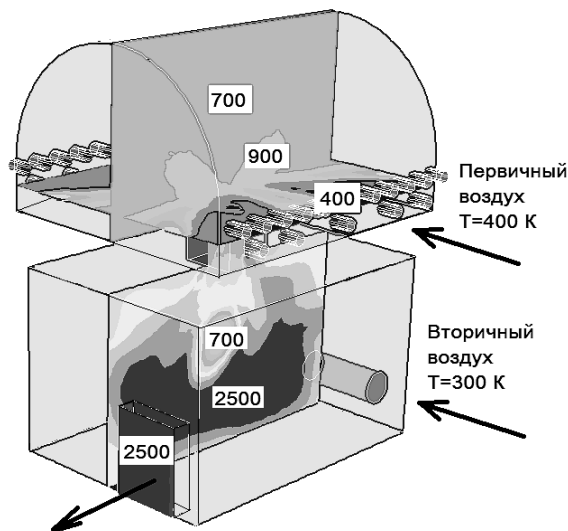


Рисунок 2 – Температура газов в печи для режима 1

Горение в печи характеризуется сложной аэродинамикой (рис. 3). Большая часть первичного воздуха движется параллельно нижней стенке камеры 1 и поступает в канал перепуска в пиролизной плите. Остывшая часть поднимается к своду камеры и затем вместе с пиролизным газом также устремляется в канал 3.

Струя газов из верхней камеры разрушается потоком вторичного воздуха, что приводит к сложному вихревому движению. В результате топливо находится в камере дольше и практически полностью выгорает.

При открытии заслонки первичного воздуха (режим 2) ситуация резко изменяется. Расход первичного воздуха увеличивается и достигает $G_1 = 0,349$ кг/с, а расход вторичного воздуха возрастает незначительно и составляет $G_2 = 0,404$ кг/с. При этом в камере 1 наблюдалось горение топлива с достаточным количеством воздуха. Максимальная температура здесь составляет 1100 К. Топливо практически полностью выгорает, и поэтому в нижней камере горение не активно. Температура здесь составляет 450–770 К. В выходном отверстии температура газов равняется 581 К.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Принятая модель процессов в теплогенераторе пиролизного типа, несмотря на ряд принятых допущений, с достаточной степенью адекватности описывает реальный уровень температур в отдельных блоках установки при коэффициентах избытка воздуха, имевших место во время проведения натурных испытаний [6].

2. При соответствующем согласовании и уточнении математической модели путем привлечения дополнительных сведений из эксперимента, касающихся величины объемного источника горючих веществ m , величины реальной порозности в объеме топливной массы и ее гидродинамического сопротивления, представленная методика может быть использована для разработки инженерных основ проектирования теплогенераторов пиролизного типа.

3. После экспериментально-теоретической отработки отдельного модуля, к примеру, теплопроизводительностью порядка 1 МВт, представляется возможным [7] создавать автономные линии ТЭС заданной мощности, обеспечиваемой соответствующим числом однотипных модулей.

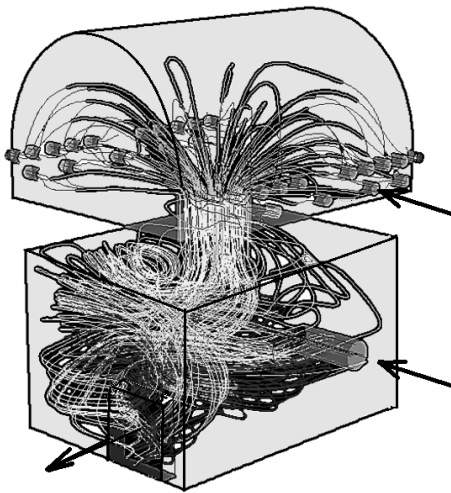


Рисунок 3 – Аэродинамика печи

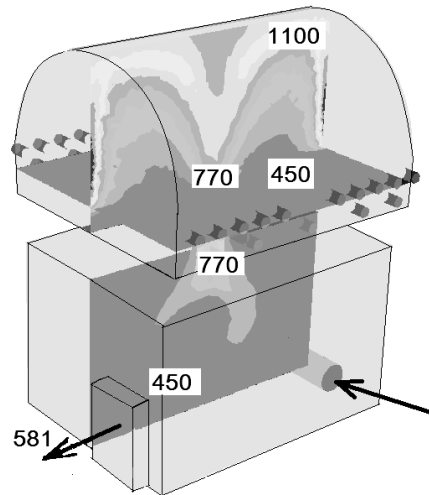


Рисунок 4 – Температура газов в печи для режима 2

Литература

1. Енергія навколо нас / А.С. Конеченков, М.М. Федосенко, Г.А. Шиловіч та інші. – К., 1999. – 192 с.
2. Энергетические установки и окружающая среда / Под ред. Маляренко В.А. – Харьков: ХГАГХ, 2002. – 398 с.
3. Чирков В.Г., Вайнштейн Э.Ф. Учет теплофизических свойств при оценке производительности процесса пиролиза растительной биомассы // Труды 4-й Международной научно-технической конференции (12–13 мая 2004 г., Москва, ГНУ ВИЭСХ) ч.4. – С. 245–251.
4. Братута Э.Г. Перспективы использования топочных агрегатов пиролизного типа / Братута Э.Г., Семеней А.Р // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2010. – № 4/ 74. – С. 8–12.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
6. Семеней А.Р. Методика оценки эффективности теплогенератора пиролизного типа в нестационарном режиме эксплуатации / Семеней А.Р., Братута Э.Г. // Інтегровані технології та ресурсозбереження. – 2010. – № 4. – С. 19–22.
7. Братута Э.Г. Оценка эффективности использования пиролизного теплогенератора в системах тепло- и электроснабжения / Братута Э.Г., Семеней А.Р // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2011. – № 5. – С. 23–28.

Bibliography (transliterated)

1. Energija navkolo nas A.S. Konechenkov, M.M. Fedosenko, G.A. Shilovich ta insh. – K., 1999. – 192 p.
2. Jenergeticheskie ustanovki i okružhajushhaja sreda Pod red. Maljarenko V.A. – Har'kov: HGAGH, 2002. – 398 p.
3. Chirkov V.G., Vajnshtejn Je.F. Uchet teplofizicheskix svojstv pri ocenke proizvoditel'nosti processa piroliza rastitel'noj biomassy Trudy 4-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii (12–13 maja 2004 g., Moskva, GNU VIJeSH) ch.4. – p. 245–251.
4. Bratuta Je.G. Perspektivy ispol'zovanija topochnyh agregatov piroliznogo tipa Bratuta Je.G., Semenej A.R Jenergosberezenie, energetika, jenergoaudit. – 2010. – # 4/ 74. – p. 8–12.
5. Idel'chik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivlenijam. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 559 p.
6. Semenej A.R. Metodika ocenki jeffektivnosti teplogeneratora piroliznogo tipa v nestacionar-nom rezhime jekspluatacii Semenej A.R., Bratuta Je.G. Integrovani tehnologii ta resursozberezhennja. – 2010. – # 4. – p. 19–22.
7. Bratuta Je.G. Ocenka jeffektivnosti ispol'zovanija piroliznogo teplogeneratora v sistemah teplo- i jelektrosnabzhenija Bratuta Je.G., Semenej A.R Jenergosberezenie, jenergetika, jenergoaudit. – 2011. – # 5. – p. 23–28.

УДК 621.311.502

Семеней О.Р., Тарасов О.І., Братута Е.Г.

МОДЕЛЬ ТЕРМОГІДРАВЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІ ПІРОЛІЗНОГО ТИПУ

Дається опис методики моделювання процесів генерування теплоти на базі піролізу органічного палива з використанням припущення, що інтенсивність термічного розкладення деревини в основному визначається рівнем об'ємного джерела горючих речовин, який, в свою чергу, є функцією температури горіння.

Semenei A.R., Tarasov A.I., Bratuta E.G.

THE MODEL OF THERMOHYDRAULIC PROCESSES IN PYROLYSIS STEAM GENERATORS

The method of modeling of heat generating processes on the base of organic fuel pyrolysis is given. The model is based on an assumption that intensity of wood thermal decomposition is determined basically by the level of volume source of combustible substances. In turn this level depends from combustion temperature.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ,
ПРОИСХОДЯЩИХ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОЧИСТКЕ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ**

Часть 1. Описание компьютерной программы

1. Введение

Электронно-лучевая очистка (ЭЛО) дымовых газов находит в последнее время широкое применение в промышленности и, в первую очередь, в теплоэнергетике. ЭЛО характеризуется высокой степенью одно-временной очистки от SO₂, NO_x, (полиароматических углеводородов) ПАУ, летучих органических соединений (ЛОС); компактностью и экономичностью по сравнению с традиционными химическими методами очистки; продуктом ЭЛО является сульфаты-нитраты аммония, которые могут использоваться в качестве сельскохозяйственных удобрений [1]. Суть технологии ЭЛО дымовых газов заключается в следующем: дымовые газы облучаются ускоренными электронами, перед облучением в газы вводится аммиак, либо в виде капель водного раствора, либо в виде пара. В процессе воздействия ускоренных электронов на газовую среду образуются возбужденные молекулы и атомы, ионы, свободные радикалы и др., которые, взаимодействуя с оксидами серы и азота и введенным аммиаком, формируются соли сульфат-нитрат аммония, которые могут использоваться в сельском хозяйстве в качестве удобрений. Процессы, происходящие при ЭЛО дымовых газов имеют сложный физико-химический характер и зависят от многих параметров, таких как доза облучения, температура дымовых газов, начальная концентрация загрязняющих веществ, влажность дымовых газов и др. Оптимизация данной технологии с целью понижения энергозатрат может быть проведена либо экспериментально [2], либо численным моделированием (численный эксперимент). В данной работе описаны основные этапы разработки программного комплекса, численно моделирующего радиационно-химические процессы, имеющие место при ЭЛО дымовых газов процессы для дальнейшей оптимизации технологии ЭЛО.

2. РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ

2.1. Математическая модель процессов ЭЛО

Разработка математической модели радиационно-химических процессов, происходящих при ЭЛО дымовых газов описана в [3] и приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Математическая модель процессов, происходящих во время ЭЛО газов

№ пп	Процесс	Основные характеристики и образующиеся продукты	Математическое описание процесса
1	Прохождение первоначально нерасходящегося пучка ускоренных электронов через газ	Распределение мощности дозы от времени	$\dot{D} = \frac{D_0}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-0.5\left(\frac{t-T/2}{\sigma}\right)^2\right]} \quad (1)$
2	Физические и физико-химические процессы при прохождении через дымовые газы	Возбужденные молекулы, ионы, радикалы	$\frac{dn_i}{dt} = G_{n_i} \dot{D} x_i \rho \quad (2)$
3	Химические реакции промежуточных и конечных продуктов	Стабильные химические соединения	$\frac{dn_i}{dt} = n_i \sum_n k_i^{(n)} \prod_{k=1}^n n_k \quad (3)$
4	Рост температуры газов вследствие поглощения энергии ускоренных электронов	Рост температуры газа со временем	$dT(t) = \frac{dD(t)}{c} \quad (4)$

2.2. Описание компьютерной программы, моделирующей процессы ЭЛО

На первом этапе были собраны константы скоростей химических реакций и значения радиационно-химического выхода из [4, 5] и помещены в таблицу «Reactions» базы данных (БД). Также, были собраны

наименования химических компонент (веществ) (возбужденные молекулы, ионы, свободные радикалы и др.) и были записаны в таблицу «Components» БД. Всего было собрано констант скоростей и значения радиационно-химического выхода для более чем 2000 химических и радиационно-химических реакций и более, чем 500 наименований химических компонент. В таблице «Components» также указывается начальные концентрации компонент маточного газа, которые могут меняться для моделирования разных по содержанию и составу дымовых газов.

Выбор реакций и химических компонент участвующих в моделировании осуществляется по следующему обобщенному алгоритму:

1. Выбирается вещество с ненулевой начальной концентрацией из таблицы «Components».
2. Затем выбирается следующее вещество с ненулевой начальной концентрацией из таблицы «Components», если между ними есть реакция, то соответствующая реакция из таблицы «Reactions», если она не была отмечена как участвующая, отмечается как участвующая в моделировании процесса и продукты этой реакции отмечаются как участвующие в реакции (если данное вещество не было помечено как участвующее в моделировании). Также, на этом этапе добавляются реакции радиолитического разложения маточного газа (формула (2) (см. Табл. 1)).
3. Шаги 1-2 повторяются до тех пор, пока число добавленных реакций не станет равным нулю.

После выбора радиационно-химических и химических реакций, участвующих в процессе моделирования составляется система обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) в соответствии с формулой (3) из табл. 1 и записывается в файл вместе с начальными значениями концентраций веществ, участвующими в процессе моделирования. Так, например, в моделировании ЭЛО процессов дымовых газов, содержащих изначально 8 компонент, участвуют 100 промежуточных веществ и 800 радиационно-химических и химических реакций. Данная система ОДУ является жесткой и решается методом Гира в представлении Нордсика [6, 7]. Также, в компьютерной программе моделирования процессов ЭЛО дымовых газов, задаются следующие параметры процесса: начальная температура газов; доза облучения газов; время облучения газов, т.е. время, которое находится газ в реакционной камере; состав газа и начальная концентрация компонент дымовых газов.

После того, как в отдельный файл записана жесткая система ОДУ совместно с начальными условиями и технологическими параметрами процесса ЭЛО дымовых газов, программа считывает и решает их, используя метод Гира. Также, на каждом шаге вычислений по формулам (1) и (4) (см. Табл. 1) рассчитывается соответственно текущая мощность дозы облучения и текущая температура газа, которая меняется вследствие поглощения энергии пучка ускоренных электронов.

После решения системы жестких ОДУ в компьютерной программе можно визуализировать графики зависимости концентрации всех компонент газа от времени облучения; вывести на экран и в файл степень очистки дымовых газов от загрязнителей (SO₂, NO_x, ПАУ, ЛОС). Блок-схема компьютерной программы представлена на рис. 1.

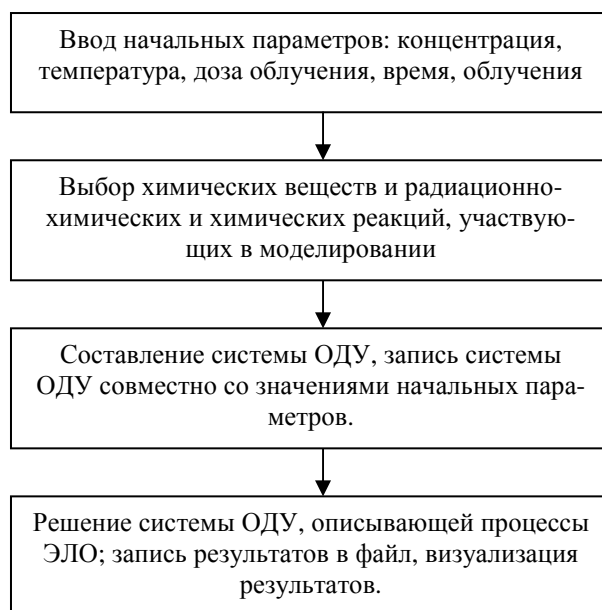


Рисунок 1 – Блок-схема компьютерной программы, моделирующей процессы ЭЛО

3. Выводы.

В статье описана компьютерная программа, моделирующая процессы одновременной электронно-лучевой очистки дымовых газов от SO_2 , NO_x . Создана программа, решающая жесткую систему ОДУ методом Гира. Описаны основные блоки программы.

Литература

1. Fainchtein, O.L. Developing wet variants of electron-beam removal of NO_x , SO_2 and particulate from flue gas [Текст] / O. L. Fainchtein, V. V. Piotrovskiy, M. V. Sagaidak et al. // In: Cooper W.J., Curry R.D., O'Shea K.E. (Eds.) Environmental Application of Ionizing Radiation. New York : Wiley, 1998.– С. 123–138.– ISBN 0-471-17086-0.
2. Fainchtein, O.L. On problems of reducing energy consumption for irradiation of flue gas in the electron beam gas treatment technology [Текст] / O.L. Fainchtein, M.V. Sagaidak, V.V. Morgunov // Radiation Physics and Chemistry.– 2002.– №65.– С. 405–414.
3. Моргунов, В.В. Математическая модель процессов электронно-лучевой очистки дымовых газов от SO_2 , NO_x , ПАУ, ЛОС [Текст] / В.В. Моргунов, А.Л. Файнштейн, А.М. Шкилько // Восточно-европейский журнал передовых технологий– 2011– №3/11.
4. Mätzing, H. Chemical kinetics of flue gas cleaning by irradiation with electron [Текст] / H. Mätzing // Advances in Chemical Physics.– 1991.– Т. LXXX.– С. 315–402.
5. NIST Chemical Kinetics Database [Электронный ресурс] / National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland– Режим доступа : \www/ URL : <http://kinetics.nist.gov/>– 25.05.2011– Загл. с экрана.
6. Gear, C.W. The automatic integration of ordinary differential equations [Текст] / C.W. Gear // Communications of the ACM.– 1971. Т. 14, № 3.– С. 176–179.
7. Gear, C.W. DIFSUB for solution of ordinary differential equations [Текст] / C.W. Gear // Communications of the ACM.– 1971. Т. 14, № 3.– С. 185–190.

Bibliography (transliterated)

1. Fainchtein, O.L. Developing wet variants of electron-beam removal of NO_x , SO_2 and particulate from flue gas [Tekst] O. L. Fainchtein, V. V. Piotrovskiy, M. V. Sagaidak et al. In: Cooper W.J., Curry R.D., O'Shea K.E. (Eds.) Environmental Application of Ionizing Radiation. New York : Wiley, 1998.– С. 123–138.– ISBN 0-471-17086-0.
2. Fainchtein, O.L. On problems of reducing energy consumption for irradiation of flue gas in the electron beam gas treatment technology [Tekst] O.L. Fainchtein, M.V. Sagaidak, V.V. Morgunov Radiation Physics and Chemistry.– 2002.– #65.– p. 405–414.
3. Morgunov, V.V. Matematicheskaja model' processov jelektronno-luchevoj ochistki dymovyh gazov ot SO_2 , NO_x , PAU, LOS [Tekst] V.V. Morgunov, A.L. Fajnshtejn, A.M. Shkil'ko Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij– 2011– #3 11.
4. Mätzing, H. Chemical kinetics of flue gas cleaning by irradiation with electron [Tekst] H. Mätzing Advances in Chemical Physics.– 1991.– Т. LXXX.– p. 315–402.
5. NIST Chemical Kinetics Database [Jelektronnyj resurs] / National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland– Rezhim dostupa : www/ URL : <http://kinetics.nist.gov/>– 25.05.2011– Zagl. s jekrana.
6. Gear, C.W. The automatic integration of ordinary differential equations [Tekst] C.W. Gear Communications of the ACM.– 1971. Т. 14, # 3.– p. 176–179.
7. Gear, C.W. DIFSUB for solution of ordinary differential equations [Tekst] C.W. Gear Communications of the ACM.– 1971. Т. 14, # 3.– p. 185–190.

УДК 519.6

Моргунов В.В., Шкилько А.М.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ ПРИ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОМУ ОЧИЩЕННІ ДИМОВИХ ГАЗІВ

Описані основні блоки комп'ютерної програми, що моделює процеси електронно-променевого очищення димових газів. Наведено математичну модель процесів. Наданий алгоритм вибору хімічних реакцій і хімічних компонентів, що беруть участь у моделюванні, а також блок-схема програми.

Morgunov V.V., Shil'ko A.M.

**NUMERICAL SIMULATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES
UNDER ELECTRON-BEAM FLUE GAS CLEANING**

This article describes the basic building blocks of a computer program that simulates the processes of electron-beam flue gas treatment. A mathematical model of the processes is given. The algorithm of the selection of chemical reactions and chemical components involved in modeling, as well as a block diagram of the program are given.

**ЕЛЕКТРОКІНЕТИЧНІ ЯВИЩА ПРИ БУРІННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ
НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН**

В умовах необхідності збільшення видобутку вуглеводнів гостро постає питання зменшення витрат на буріння та експлуатаційне обслуговування нафтогазових свердловин. На теперішній час одним з факторів підвищення комерційної вартості буріння є зростання часу подолання наслідків ускладнень та аварій, що виникають під час буріння свердловин на нафту та газ. Серед зазначених ускладнень та аварій чільне місце посідають прихоплення бурильного інструменту, серед яких в залежності від природи виникнення виділяють декілька видів: під дією перепаду між гідростатичним тиском стовпа бурового розчину та гірським тиском; унаслідок осипання гірських порід; через утворення сальників на поверхні бурильних труб [1] та ін. Серед чинників виникнення прихоплення одним з головних є негативний вплив бурового розчину на гірські породи. Проблеми регулювання реологічних властивостей бурового розчину та хімічного впливу його фільтрату на гірські породи присвячено значну кількість робіт, але електрокінетичні процеси, що перебігають при бурінні та експлуатації свердловин, потребують більш детального дослідження оскільки відомо, що однією з причин утворення глинистого сальнику на металевій поверхні бурильних труб може бути електрофорез глинистих частинок та вибуреного шламу до металевої поверхні [2]. Ще одним з електрокінетичних процесів при фільтрації рідини у поруватих та проникних породах під дією перепаду тиску є виникнення потенціалу течії. Відзначимо, що при бурінні свердловин для попередження газопроявлень завжди існує перепад між гідростатичним тиском стовпа бурового розчину та пластовим тиском гірських порід, тому при розбурюванні проникних гірських порід неминує відбувається фільтрація бурового розчину, який за своєю природою є дисперсним розчином, дисперсійним середовищем якого у більшості випадків є вода. Таким чином, у проникних гірських породах виникає потенціал протікання. При потраплянні у пори фільтрат бурового розчину взаємодіє з гірськими породами, що призводить до їх набухання, осипання та зменшення колекторських властивостей нафтогазового пласта, тому умовою успішного буріння свердловин є мінімізація кількості фільтрату бурового розчину у проникних породах. Поставленої мети можна досягти впливом на електрокінетичні процеси, зокрема, на потенціал протікання. З іншого боку, при експлуатації нафтогазових свердловин для збільшення їх дебіту необхідно навпаки поліпшувати фільтраційні властивості пласта, що можна реалізовувати зменшенням потенціалів протікання. Отже визначення механізму впливу на потенціал протікання і керування електрокінетичними процесами є доволі актуальним завданням, що і зумовило мету дослідження.

За класичними уявленнями при протіканні немінералізованої води під сталим тиском через порувату діафрагму потенціал протікання E не залежить від площі та товщини діафрагми і об'єму перенесеної води, тому пропорційний лише прикладеному тиску, а кількісний зв'язок між E і фізико-хімічними властивостями взаємодіючих фаз для водних розчинів у капілярі описується відомим рівнянням Гельмгольца-Смолуховського [3]:

$$E = \frac{\Delta p D \xi}{4\pi\eta\lambda}, \quad (1)$$

де Δp – перепад тиску на кінцях капіляра; D – діелектрична проникність середовища; ξ – електрокінетичний потенціал; η – в'язкість середовища; λ – питома електропровідність середовища.

Рівняння (1) є досить наближеним та прийнятним для капілярів відносно великого розміру, а оскільки проникні породи можна уявити як «жорстку» гетерокапілярну діафрагму з досить приблизно визначеною структурою [4] то (1) потребує уточнення. Відомо, що при радіусах пор менше за 1 мкм спостерігається зменшення значень потенціалу течії, причинами якого є, по-перше, відмінність у в'язкості та діелектричній проникності вільної рідини та рідини у порах діафрагми, а, по-друге, рівняння (1) не враховує поверхневу провідність та електроосмотичний протитік рідини. Зазначимо, що (1) отримано для ламінарного потоку рідини, а виникнення турбулентності буде порушувати достовірність розрахунків. Порушення ламінарності течії у капілярах виникає не тільки за рахунок перевищення припустимої межі тиску, а і через зміну фізичних властивостей рідини – виникнення в'язкопластичності. З урахуванням вищевикладеного найбільш достовірною є запропоноване у [5] рівняння, яке враховує, принаймні, поверхневу провідність:

$$E = \frac{\Delta p D \xi}{4\pi\eta(\lambda_{ov} + \lambda_s)}, \quad (2)$$

де λ_{ov} – об’ємна питома електропровідність рідини; λ_s – поверхнева питома електропровідність рідини.

Для визначення потенціалу протікання зазвичай використовують електрохімічну комірку з двома відділеннями – робочим та індикаторним, які розділяють скляною діафрагмою з відомою поруватістю. Через діафрагму перепускали досліджувану рідину (у даному випадку – модель фільтрату бурового розчину). Потенціал протікання фіксували мультиметром як різницю потенціалів між двома хлоридсрібними електродами, зануреними безпосередньо обабіч діафрагми [6]. Використання стандартних хлоридсрібних електродів порівняння не дає змоги підтримувати в них тиск, рівнозначний тискові у електрохімічній комірці, що знижує відтворюваність результатів. Для усунення цього недоліку використовували експериментальні твердофазові електроди, працездатні в широкому інтервалі тиску [7], який до і після діафрагми підтримували за рахунок гідростатичного тиску стовпа рідини і варіювали в межах від 50 до 200 мм. вод. ст.

Встановлено, що при пропусканні технічної води через скляну діафрагму з поруватістю на рівні 100 мкм при зміні гідростатичного тиску отримано майже лінійну залежність потенціалу протікання від тиску (рис. 1), що відповідає класичним уявленням. Але додавання таких солей, як хлориди лужних металів, зокрема NaCl і KCl, призводить до зменшення товщини подвійного електричного шару, принаймні його дифузної складової, що і зумовлює зменшення потенціалу протікання.

Характер залежності зміни потенціалу протікання від концентрації розчину хлориду натрію (рис. 2) з урахуванням збільшення в’язкості розчину зі зростанням концентрації надає можливість визначити склад розчину, в якому потенціал протікання і в’язкість будуть мінімальними. Саме такі розчини потрібні для законтурного витіснення вуглеводнів з нафтогазових пластів, що будуть чинити якомога менший гідродинамічний опір при їх закачуванні.

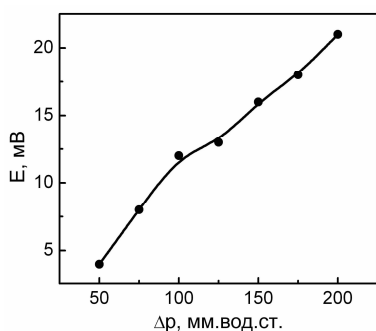


Рисунок 1 – Залежність потенціалу протікання технічної води від тиску

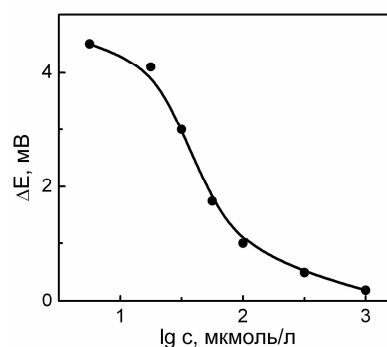


Рисунок 2 – Залежність зміни потенціалу протікання від концентрації NaCl

В межах прийнятності закону Дарсі потенціал E можна надати через швидкість фільтрації з використанням такої характеристики діафрагми, як її проникність K , та пов’язати зі швидкістю фільтрації v_ϕ

$$v_\phi = \frac{4\pi\eta EK\rho_{жс}(\lambda_{ov} + \lambda_s)}{D\xi}, \quad (3)$$

де $\rho_{жс}$ – питома густина рідини.

Наведене рівняння дає змогу не тільки розрахувати швидкість фільтрації для проникних порід, але і встановити шляхи впливу на цей процес, зокрема, в напрямку зменшення фільтрації рідини. Це є особливо актуальним для перешкоджання фільтрації бурового розчину у проникні гірські породи. В такому випадку швидкість фільтрації буде пропорційна питомій електропровідності і обернено пропорційною до діелектричної проникності та електрокінетичного потенціалу. Слід зазначити, що питома електропровідність має більший вплив, у порівнянні з діелектричною проникністю, наприклад, якщо порівнювати ці величини для електроліту та бензину $D_{ел}/D_{бенз} = 80/2 = 40$, а $\lambda_{бенз}/\lambda_{ел} = 10^{-12}/0,013 = 10^{10}$. Неабиякий вплив має і електрокінетичний потенціал ζ , тому актуальною є можливість впливу на його значення, і навіть на знак, що досягається за рахунок введення ПАР до складу електролітів та зміною рН середовища [8]. Так, при зміні рН середовища, що досягалось додаванням HCl та KOH, отримано залежності (рис. 3), аналіз яких свідчить про екстремальний характер зв'язку між E та рН.

Такий висновок можна розповсюдити на процедуру оптимізації рН, при якому значення потенціалу протікання буде максимальним, у даному випадку в межах 6,5–11, що в свою чергу призводить до зменшення швидкості фільтрації у проникні породи.

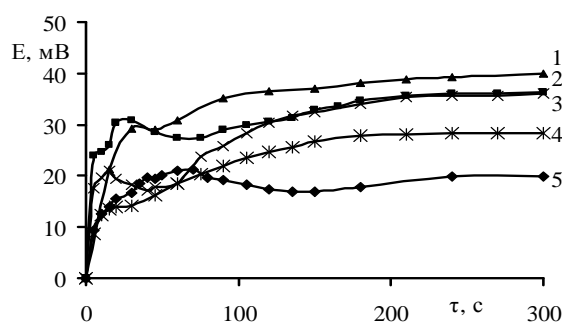


Рисунок 3 – Хронограми потенціалу протікання при рН розчину 8,6 (1); 6,1 (2); 11,3 (3); 13,2 (4); 3,5 (5)

Таким чином, при виконанні роботи вдалось з'ясувати принципову можливість впливу електрохімічних характеристик бурового розчину на швидкість його фільтрації до проникних гірських порід. Потенціал течії може бути непрямою ознакою швидкості фільтрації, тому за рахунок фізичного моделювання системи «фільтрат бурового розчину – проникні гірські породи» та вимірювання потенціалу протікання можна оптимізувати склад фільтрату і бурового розчину, при якому швидкість фільтрації буде мінімальною. Із застосуванням запропонованої методики можна також визначати склад рідин для законтурного заводнення, при якому їх фільтрація у проникних породах буде максимальною.

Література

1. Мислюк М.А. Буріння свердловин / М.А. Мислюк, І.Й. Рибчин, Р.С. Яремійчук. – К.: Наукова думка, 2004. – 376 с.
2. Сахненко М.Д. Роль електрокінетичних явищ при виникненні ускладнень та аварій під час буріння нафтогазових свердловин / М.Д. Сахненко, Р.О. Шевченко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2010.– № 30.– С. 195–199.
3. Григоров О.Н. Электрокинетические явления / О.Н.Григоров.–Л.: ЛГУ, 1973.– 199 с.
4. Духин С.С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем / С.С. Духин. – К.: Наукова думка, 1975.–246 с.
5. Касимзаде М.С. Электрокинетические преобразователи информации / М.С. Касимзаде, Р.Ф. Халилов, А.Н. Балашов.– М.: Энергия, 1973.– 136 с.
6. Revil A. Characterization of transport properties of argillaceous sediments: Application to the Callovo-Oxfordian argillite / A.Revil, P.Lerov, K.Titov // J.Geophys. Res.– Vol.110.– 2005.
7. Похмурський В.І. Методи електрохімічних досліджень металів у високотемпературних водних середовищах / Похмурський В.І., Антощак І.М.– Львів: СПОЛОМ, 2010.– 152 с.
8. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии / Ю.Г.Фролов. – М.: Химия, 1982. – 400 с.

Bibliography (transliterated)

1. Misljuk M.A. Burinnja sverdlovin M.A. Misljuk, I.J. Ribchin, R.S. Jaremijchuk. – K.: Naukova dumka, 2004. – 376 p.
2. Sahnenko M.D. Rol' elektrokinetichnih javishh pri viniknenni uskladnen' ta avarij pid chas burinnja naftogazovih sverdlovin M.D. Sahnenko, R.O. Shevchenko Visnik NTU «HPI». – 2010.– # 30.– p. 195–199.
3. Grigorov O.N. Elektrokineticheskie javlenija O.N.Grigorov.–L.: LGU, 1973.– 199 p.
4. Duhin S.S. Jelektroprovodnost' i jelektrokineticheskie svojstva dispersnih sistem S.S. Duhin. – K.: Naukova dumka, 1975.–246 p.
5. Kasimzade M.S. Jelektrokineticheskie preobrazovateli informacii M.S. Kasimzade, R.F. Halilov, A.N. Balashov.– M.: Jenergija, 1973.– 136 p.
6. Revil A. Characterization of transport properties of argillaceous sediments: Application to the Callovo-Oxfordian argillite A.Revil, P.Lerov, K.Titov J.Geophys. Res.– Vol.110.– 2005.
7. Pohmurs'kij V.I. Metodi elektrohimiichnih doslidzhen' metaliv u visokotemperaturnih vodnih sredovishhah Pohmurs'kij V.I., Antoshhak I.M.– L'viv: SPOLOM, 2010.– 152 p.
8. Frolov Ju.G. Kurs kolloidnoj himii Ju.G.Frolov. – M.: Himija, 1982. – 400 p.

УДК 622.248

Сахненко Н.Д., Шевченко Р.А.

**ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ БУРЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

Рассмотрено возникновение потенциалов течения при фильтрации бурового раствора в проницаемых породах. Установлена зависимость потенциала течения от приложенного давления, состава и pH пропускаемого раствора (модели фильтрата бурового раствора)

Sakhnenko N.D., Shevchenko R.A.

ELECTROKINETIC'S PHENOMENA UNDER OIL-GAS'S WILL DRILLING AND EXPLOITATION

We consider the emergence of potential flow for filtration of drilling fluid into permeable rocks. The dependence of streaming potential on the applied pressure, composition and pH of the transmitted solution (model mud filtrate).

Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Перевертайленко А.Ю., Бухкало С.И., Арсеньева О.П.

АНАЛИЗ ТЕПЛООБМЕННЫХ СИСТЕМ УСТАНОВОК ГАЗИФИКАЦИИ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

Постановка проблемы в общем виде и ее связь в важными научными или практическими задачами. Постоянный рост цен на традиционные углеводородные энергоносители – нефть и природный газ, связанный с крайне неравномерным распределением месторождений этих энергоносителей и декларируемыми периодами их исчерпаемости, переход на другие виды топлива из альтернативы становится необходимостью. Запасы твердых топлив – углей, горючих сланцев, торфа – распределены более равномерно, и срок их исчерпаемости исчисляется, по меньшей мере, сотнями лет. Возрос интерес к альтернативным видам углеводородного топлива, таким как сланцевый газ, метан угольных пластов, сверхтяжелая нефть и битуминозные пески, мировые запасы которых могут по различным оценкам превышать запасы традиционной нефти и природного газа. Вместе с тем, нельзя сбрасывать со счетов такой потенциально важный вид топлива, как углеродосодержащие отходы различных производств, твердые бытовые отходы (ТБО) и органическую составляющую осадков сточных вод. Такие отходы, особенно ТБО, доступны практически повсеместно, тем более, что накапливаясь, они способствуют загрязнению окружающей среды, включая выделение парниковых и других газов, разрушающих озоновый слой Земли.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы. Элементарная классификация отходов, как известно, подразделяет их на отходы производства и отходы потребления [1,2]. Отходы производства можно рассматривать как побочные продукты, образующиеся наряду с целевыми, которые в ряде случаев нельзя использовать в данном производстве или других существующих производствах данного предприятия в качестве сырья. Отходы потребления – это изделия и материалы, утратившие необходимые свойства ввиду физического или морального износа, а также отходы жизнедеятельности человека.

К углеродсодержащим отходам можно отнести отходы, в состав которых входит органическая составляющая: отходы нефтеперерабатывающей, химической, коксохимической, угольной и даже пищевой промышленности и биотехнологии; отходы электрогенерирующих предприятий, биомасса; ТБО; осадков сточных вод и т.д. Если отходы в целом можно рассматривать как вторичные ресурсы, то углеродсодержащие отходы можно рассматривать как вторичные топливно-энергетические ресурсы [3], поскольку возможна их термическая конверсия – сжигание, пиролиз и газификация.

Процесс газификации углеродсодержащих отходов, как и газификации прочих видов топлива, представляет собой совокупность гетерогенных и гомогенных реакций в результате которых образуется газовая смесь, состоящая главным образом из оксида углерода (CO), водорода, небольшого количества метана (CH₄) и диоксида углерода (CO₂), которая называется синтез-газом или сингазом [4]. Следует отметить, что синтез-газ сам по себе является горючим газом и может быть использован в качестве топлива.

При газификации протекают также побочные реакции, в результате которых образуются такие соединения как H₂S, COS, CS₂, HCN, HCL и некоторые другие, концентрация которых в синтез-газе зависит от химического состава газифицируемого сырья и, которые удаляются в соответствующих узлах очистки. Процесс газификации углеродсодержащего сырья требует подвода значительного количества высокотемпературного тепла, что обуславливает проведение процессов газификации при температурах выше 900 °С. Газифицирующими средствами могут служить различные кислородсодержащие агенты, например, воздух, воздух и пар, кислород и пар, водород и пар [5].

Одним из современных методов газификации являются процессы плазменной газификации, которые могут обеспечить температуру газификации 2000–3000 °К. Неорганическая составляющая газифицируемого сырья образует шлак, который выводится из производственного цикла.

Газификационные установки можно классифицировать по: назначению целевого синтез-газа, видам газифицируемых отходов, производительности, а также по их целевому назначению. Это определяет конструкцию [6] самих установок, выбор газификационных аппаратов (газогенераторов), и, следовательно, как тепловые схемы установок в целом, так и теплообменные системы каждого узла установки в отдельности. В общем виде процесс газификации можно представить в виде функциональной схемы (рис. 1).

Подготовленное к газификации сырье и газифицирующий агент поступают в газогенератор 3, в котором происходит процесс газификации. Сырой горячий синтез-газ охлаждается в котлах-утилизаторах или теплообменниках с выработкой пара с высокими параметрами. Кроме того, происходит очистка от механических примесей HCN и HCL. Затем синтез-газ поступает в узел очистки от сернистых соединений и

CO₂. Уловленный сероводород может быть конвертирован в элементарную серу по известным технологиям.

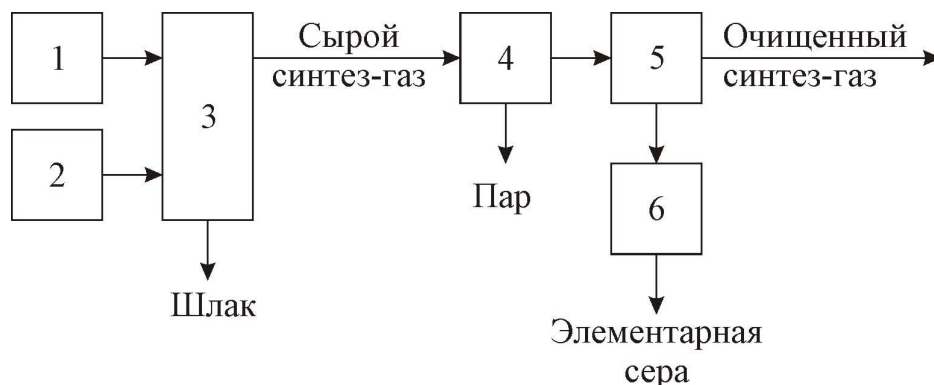


Рисунок 1 – Принципиальная схема газификационной установки:

- 1 – подготовка газифицируемого сырья; 2 – подготовка газифицирующего агента;
- 3 – газификационный аппарат (газогенератор); 4 – узел охлаждения и очистки синтез-газа;
- 5 – узел очистки синтез-газа от H₂S и CO₂; 6 – установка получения элементарной серы

Очищенный синтез-газ может быть использован в газовых турбинах для выработки электроэнергии, как сырье для синтеза аммиака, метанола, топлив по методу Фишера-Тропша, водорода и некоторых продуктов органического синтеза.

При модернизации узла очистки с возможностью полного улавливания CO₂ перед сжиганием сильно обогащенного водородом синтез-газа в узле газовых турбин уловленный CO₂ может быть использован, например, для интенсификации добычи нефти, природного или нетрадиционного газа (сланцевый газ, шахтный метан и др.) [7].

Изложение основного материала исследований. Отходы нефтепереработки представляют собой твердые либо очень вязкие остатки различных процессов, входящих в производственный цикл переработки сырой нефти. Нефтекокк представляет собой твердый остаток коксования – термического крекинга тяжелого нефтяного сырья. Выход нефтекокка может составлять до 30 % масс. от поступающего сырья [8]. Нефтекокк может быть использован в производстве электродов, карбида кальция, графита и др. Наиболее предпочтительно использование для этих целей так называемого игольчатого нефтекокка, состоящего из удлиненных кристаллов. Однако, для его получения требуется особое сырье и более высокие температуры процесса коксования. Основную часть кокса в нефтепереработке составляет губчатый кокс, представляющий собой малоценный продукт, который фактически является отходом производства и может быть использован в качестве твердого топлива на производстве при необходимости. В нефтекоксе содержится сравнительно мало золы (около 0,5 %), а содержание серы составляет 2–6 %.

Остаток висбкрекинга (пек) получается при переработке нефтяных остатков – полугудронов и гудронов, с целью снижения вязкости исходного остатка. Однако, только 20–30 % тяжелого остатка вакуумной перегонки подвергается трансформации [8].

Кроме того твердые отходы образуются в процессах получения битума, риформинга, изомеризации, производстве смазочных масел и в некоторых других процессах [9]. Сжигание подобных остатков в печах либо котельных агрегатах создает большое количество вредных выбросов.

В связи с ужесточением экологических требований и связанных с этим санкциями, включая финансовые, подобное использование отходов становится невыгодным. Газификация тяжелых жидких остатков нефтепереработки в промышленном масштабе применяется с 1960-х гг. Одним из первых газификационных агрегатов такого рода был агрегат, установленный на химическом предприятии Весслинг, Германия (1969 г.), производительностью 1300000 м³/сут по синтез газу, для производства метанола 582 т/сут. Для газификации использовался остаток крекинга [10].

Анализ литературных данных [10, 11] позволяет проследить динамику роста количества газификационных агрегатов, использующих в качестве сырья отходы нефтеперерабатывающих производств, а также номенклатуру целевых продуктов. С 1969 г. По 2009 г. В мире было введено в эксплуатацию 20 таких газификационных агрегатов с явной динамикой роста (рис. 2).

Из них в одиннадцати агрегатах в качестве сырья использован был остаток висбкрекинга, в шести – нефтекокк, в остальных – битум, тяжелые остатки крекинга и нефтяной шлам. Распределение номенклатуры целевых продуктов приведено на рис. 3.

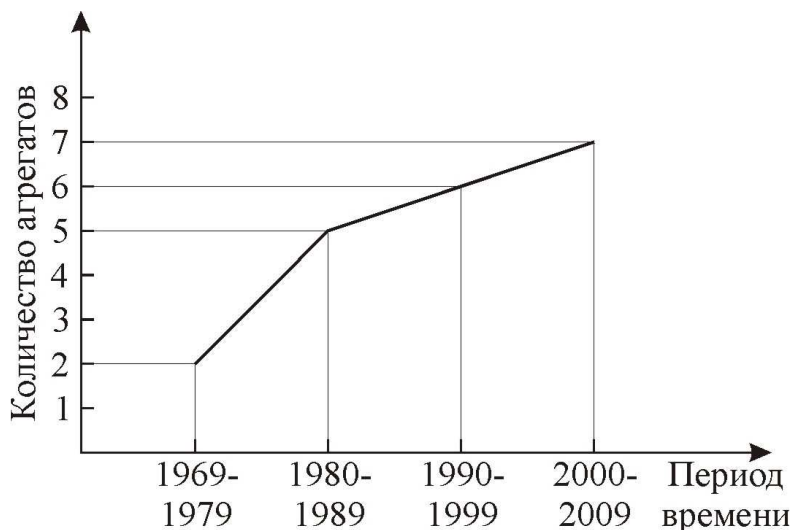


Рисунок 2 – Количество введенных в строй агрегатов, работающих на отходах нефтеперерабатывающих производств

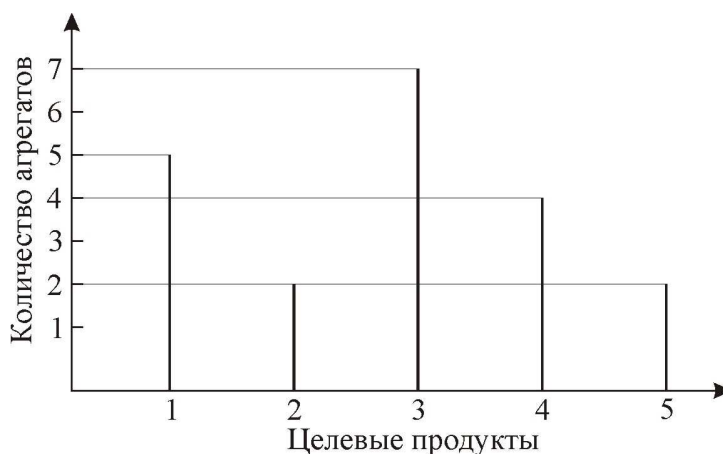


Рисунок 3 – Распределение номенклатуры целевых продуктов газификационных агрегатов:
 1 – водород и электроэнергия; 2 – метанол; 3 – аммиак; 4 – электроэнергия и пар;
 5 – прочее (газы для органического синтеза)

Характеристики некоторых газификационных агрегатов, работающих на отходах нефтеперерабатывающих производств приведены в табл. 1.

Газификационные агрегаты отходов нефтеперерабатывающих производств также, как и агрегаты газификации угля, представляют собой в той или иной степени интегрированную совокупность химико-технологических систем: разделение воздуха для получения кислорода, подаваемого в газогенератор (газификатор), собственно процесс газификации, системы очистки синтез-газа, включая очистку от H_2S и CO_2 , очистку сточных вод. В современных газификационных агрегатах, которые вырабатывают электроэнергию, реализуется комбинированный парогазовый цикл, поэтому такие агрегаты можно классифицировать как установки комбинированного цикла комплексной газификации (КЦКГ или IGCC) [9]. Рассмотрим схему КЦКГ для производства электроэнергии, водорода и пара из остатков висбкрекинга на примере нефтеперерабатывающего комплекса (НПК) Сарлюкс, Италия [12]. Функциональная схема газификационного агрегата приведена на рис. 4. Технологии газификации, применяемые для отходов нефтепереработки (General Electric; Shell, Техасо; Conoco Philips), предполагают проведение процессов газификации при температурах 1400–1600 °С и давлениях 30–80 бар.

Различные стадии очистки синтез-газа работают при более низких температурах: высокотемпературная очистка при температурах 300–500 °С, гидролиз CO_2 – при температуре 200 °С, а абсорбционная

очистка от кислых компонентов – при температуре 40 °С [13]. Кроме того, очищенный синтез-газ, поступающий в камеру сгорания газовой турбины, должен быть подогрет как минимум до 300 °С после очистки от кислых газов.

Таблица 1 – Газификационные агрегаты конверсии тяжелых побочных продуктов и отходов нефтеперерабатывающих предприятий [10,11]

Технология	Предприятие	Год ввода в эксплуатацию	Газифицируемое сырье	Производительность, синтез-газ, нм ³ /ч	Конечная продукция
Shell Gasification	НПП, Лейна, Германия	1985	Остатки висбрекинга	300000	Водород, электроэнергия, метанол
General Electric Gasification	НПП, Сардиния, Италия	2000	Остатки висбрекинга	433000	Водород, электроэнергия (ЭЭ) – 550 МВт, пар для НПП
General Electric Gasification	НПП, Гаргальо, Сицилия, Италия	2000	Асфальт	367000	ЭЭ – 550 МВт, пар для НПП
General Electric Gasification	Химпредприятие, Жилино, Китай	2003	Остатки висбрекинга	87000	Аммиак, 1000 т/сут
Shell Gasification	НПП, Санназаро, Италия	2006	Остатки висбрекинга	48000	Водород, ЭЭ, пар для НПП
General Electric Gasification	Нефтехимический комплекс Хаосюн, Тайвань	1996	Битум	90000	Водород, синтез-газ для производства метанола
General Electric Gasification	Азотный завод, Коффевилль, США	2000	Нефтекоксы	90000	Аммиак, КАС
Conoco-Philips	Электростанция, Уэйбеш Ривер, США	1995	Нефтекоксы	175000	Электроэнергия, 262 МВт

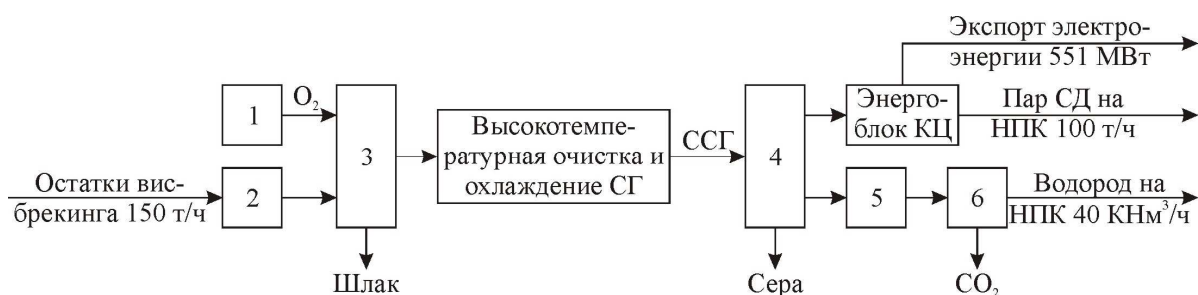
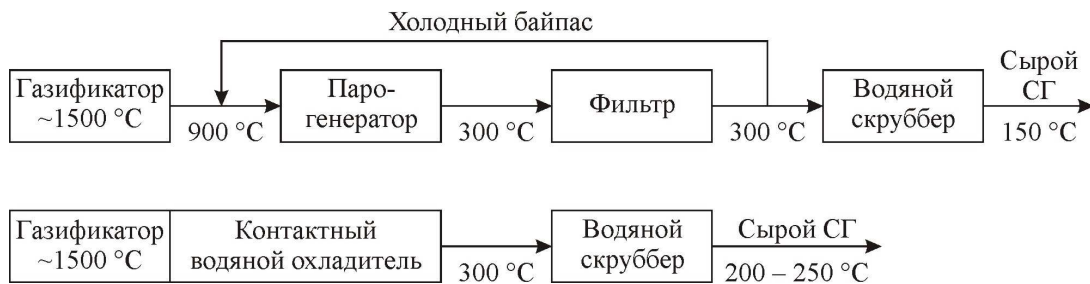


Рисунок 4 – Функциональная схема КЦКГ для производства электроэнергии, водорода и пара: 1 – установка разделения воздуха; 2 – узел подготовки сырья; 3 – газификационный аппарат (газогенератор); 4 – установка очистки от сернистых соединений; 5 – установка конверсии СО; 6 – установка получения водорода; КЦ – комбинированный цикл; ССГ – сырой синтез-газ; ОСГ – очищенный синтез-газ; пар СД – пар среднего давления

Охлаждение синтез-газа происходит в несколько этапов, первым из которых является высокотемпературное охлаждение. В системах высокотемпературного охлаждения синтез-газа КЦКГ для газификации отходов нефтеперерабатывающей промышленности применяются в основном две схемы (рис. 5).

Высокотемпературное охлаждение синтез-газа по технологии Shell предусматривает разбавление синтез-газа, выходящего из газификатора с температурой 1500 °С, синтез-газом, отбираемым после фильтра в виде холодного байпаса. Затем синтез-газ поступает в парогенераторы, где вырабатывается пар высокого и среднего давления (соответственно, ПВД и ПСД).



б)

Рисунок 5 – Схемы высокотемпературного охлаждения синтез-газа по технологиям:
а) Shell, б) General Electric

Преимуществом технологической схемы представленной на рис. 5а является более полная утилизация тепла горячего синтез-газа для выработки пара высокого и среднего давления. Недостатки схемы заключаются в следующем:

- наличие непрореагировавшего в газификаторе углерода, а также образование смолистых веществ, которые загрязняют поверхность теплопередачи парогенератора;
- байпасный газ, идущий на разбавление и охлаждение потока синтез-газа из газификатора, полезно не используется, что снижает производительность установки по синтез-газу.

Парогенераторы, применяемые в данной схеме, являются паротрубными, то есть синтез-газ подается в трубы, а пар генерируется в межтрубном пространстве, что дает возможность производить очистку по полости синтез-газа.

Технологическая схема, представленная на рис. 5б, является более простой. Контактное охлаждение синтез-газа водой в нижней части корпуса газификатора позволяет существенно снизить температуру синтез-газа и уловить большую часть загрязнений, о которых было сказано выше. Такие операции, в свою очередь, позволяют снизить капитальные затраты на оборудование, а также затраты на очистку поверхности теплообменного оборудования. Недостатки схемы заключаются в следующем:

- отсутствие интеграции тепла потока горячего синтез-газа;
- необходимость больших расходов воды для контактного охлаждения синтез-газа;
- необходимость наличия установки для очистки этой воды;
- повышенная влажность синтез-газа.

Более совершенной с точки зрения интеграции тепловых потоков является схема с радиантным охладителем синтез-газа по технологии General Electric с рекуперацией тепла (рис. 6) [11]. Радиантный охладитель расположен в одном узле с газификатором.

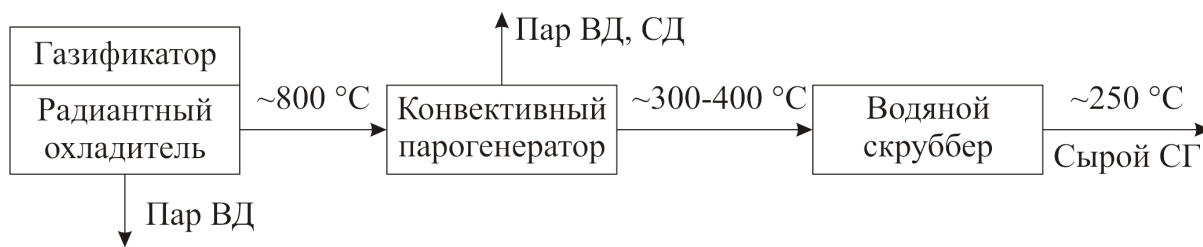


Рисунок 6 – Схема охлаждения высокотемпературного синтез-газа по технологии General Electric

Вследствие высокой температуры синтез-газа, теплоотдача от него происходит, большей частью, за счет теплового излучения, что позволяет снизить температуру синтез-газа перед конвективным парогенератором. Данная схема позволяет полезно использовать весь полученный синтез-газ и повысить количество используемого пара.

Технология газификации Conoco Philips (E-Gas) [14] предусматривает применение вместо радиантного охладителя второй ступени газификации, в результате чего происходит более полная газификация сырья, и несколько повышается качество синтез-газа. После второй ступени газификации при поступлении синтез-газа в конвективный парогенератор, его температура составляет около 900 °C.

Общими недостатками для обеих схем являются высокие капитальные и эксплуатационные затраты, связанные с очисткой поверхности теплообменных аппаратов охлаждения высокотемпературного синтез-газа. В таблице 2 приведены данные об особенностях схем охлаждения высокотемпературного син-

тез-газа на різних КЦКГ і газифікаційних агрегатах для відходів нафтоперероблювальної промисловості (середньочасова продуктивність дана по синтез-газу (СГ), $\text{м}^3/\text{ч}$). В процесі газифікації приміси, що містяться в сировині, особливо сірка, утворюють ряд шкідливих і небажаних сполучень (реакції 1–3), викликають як корозію обладнання, так і утворення шкідливих викидів в процесі згорання в камері газової турбіни. При цьому знижується якість синтез-газу як сировини для наступних циклів хімічної конверсії.



Таблиця 2 – Способи охолодження високотемпературного синтез-газу

Предприятие	Технические показатели охлаждения высокотемпературного синтез-газа				
	Сырье для процесса	Технология газификации	Производительность	Способ охлаждения	Схема охлаждения
Сарлюкс НПК, Италия	Остатки висбрекинга	General Electric Gasification Technology	433300	Прямое контактное водяное	Рис. 5б
Санназаро НПК, Италия	Остатки висбрекинга	Shell Gasification Technology	48000	Смешение с байпасным СГ; КЖПГ	Рис. 5а
Негиси НПК, Япония	Твердый остаток вакуумной перегонки	General Electric Gasification Technology	241700	Прямое контактное водяное	Рис. 5б
КЦКГ Вэй-беш Ривер, США	Нефтекокс	Conoco Philips (E-Gas)	175000	Конвективный жаротрубный парогенератор (КЖПГ)	–
КЦКГ Полк-Каунти, США	Нефтекокс + Уголь	General Electric Gasification Technology	137500	РО; КЖПГ; газ-газовый рекуператор	Рис. 6
Пекинский химический комплекс, Китай	Остатки тяжелой нефти	General Electric Gasification Technology	13300	Радиантный охладитель (РО); КЖПГ	Рис. 6

Для очистки синтез-газу від вищевказаних домішок, а також від надлишку діоксида вуглецю, в газифікаційному агрегаті застосовують установку серочистки, яка складається з стадії гідролізу COS і стадії абсорбційної очистки від H_2S і CO_2 . На стадії гідролізу відбувається реакція розкладання COS на каталізаторі:



в разі, якщо після водяного скруббера в синтез-газі є наявність HCN, також проводять стадію гідролізу в результаті якої утворюється аміак. Схема вузла серочистки для КЦКГ Пуэртоллано, Іспанія, для сумішевого сировини – нафтококс і каменний уголь, багатостадійна (рис. 7) [15]. Параметри процесу серочистки наведені для одного з технологічних режимів, прийнятих для моделювання процесу [15]. Синтез-газ, що надходить з водяного скруббера, підігрівається паром в підігрівачі 1 до температури реакції гідролізу і надходить в реактор. Після реактора газ надходить в абсорбер 3, де його охолоджують розчином метилдіетаноламіном (МДЭА) до температури абсорбції. Слід відзначити, що МДЭА є хемосорбентом і має високу селективність по відношенню до H_2S . Після

МДЭА очистки от H₂S и частично от CO₂ очищенный синтез-газ нагревается в рекуперативном теплообменнике 2 и поступает в узел газовых турбин парогазового цикла. Смесь H₂S и CO₂ поступает на установку Клауса для регенерации H₂S до элементарной серы, а углекислый газ выбрасывается в атмосферу. Системы МДЭА-очистки, в основном, применяются для КЦКГ, целевым продуктом которых является вырабатываемая электроэнергия.

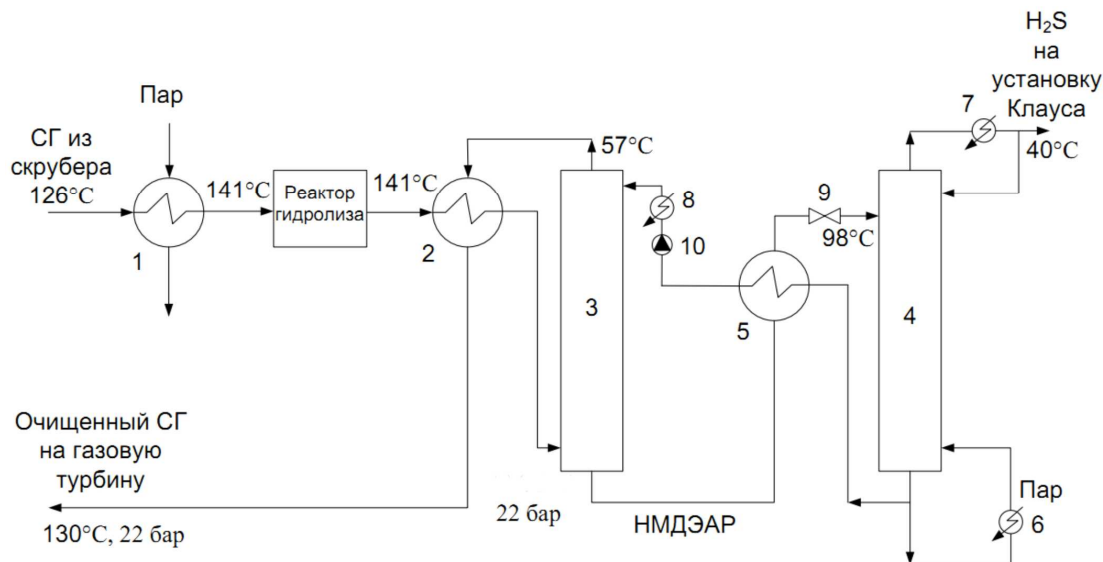


Рисунок 7 – Схема узла сероочистки для КЦКГ Пуэртоллано: 1 – подогреватель СГ; 2, 5 – рекуперативный теплообменник; 3 – абсорбер; 4 – регенератор; 6 – ребойлер; 7 – конденсатор парогазовой смеси; 8 – холодильник; 9 – дроссель; 10 – насосная группа; 11 – холодильник; НМДЭАР – насыщенный раствор метилдиэтанолamina; РМДЭАР – регенерированный раствор метилдиэтанолamina

Для газификационных агрегатов, целевым продуктом которых является также и водород, применяются процессы [14, 15] физической абсорбции: Селексол, Ректизол, Пуризол. Теплообменные системы технологических схем перечисленных процессов очистки, в целом аналогичны МДЭА-очистке, то есть содержат рекуперативные теплообменные позиции «насыщенный раствор абсорбента/регенерированный раствор абсорбента», ребойлеры низа регенератора, использующие насыщенный пар низкого давления, холодильники-конденсаторы парогазовой смеси с верха регенератора, холодильники регенерированного раствора абсорбента перед абсорбером. При производстве водорода как целевого продукта наряду с электроэнергией (рис.), необходима стадия конверсии СО по реакции [5]:



где тепловой эффект реакции $Q = 41,2$ кДж.

Реакция проводится в две стадии (в двух реакторах) при температурах соответственно около 450 °С и 250 °С [18]. Принципиальная схема стадии конверсии согласно примеру КЦКГ, рассмотренному в [18], приведена на рис. 8.

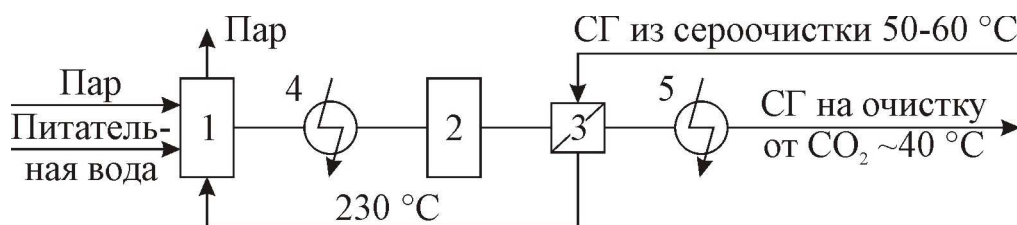


Рисунок 8 – Принципиальная схема конверсии окиси углерода:
1, 2 – соответственно реактор первой и второй ступени; 3 – рекуперативный теплообменник;
4, 5 – соответственно промежуточный и конечный холодильник синтез-газа

В рассмотренном примере [18] предусмотрена интеграция подачи питательной воды в реактор 1, промежуточного холодильника 4 и конечного холодильника 5 за счет воды, подаваемой под высоким давлением с начальной температурой около 30 °С.

При выработке электроэнергии (КЦКГ) очищенный синтез-газ или его часть нагревается в рекуперативном теплообменнике и поступает в камеру сгорания газовых турбин. Нагрев может производиться в рекуперативном теплообменнике после реактора гидролиза (рис. 8), либо в специальном рекуперативном теплообменнике перед водяным скруббером. После газовых турбин выхлопные газы с температурой около 580 °С [18] поступают в котел-утилизатор, где генерируется перегретый пар высокого давления. Сюда же подается для перегрева пар высокого давления, выработанный при охлаждении синтез-газа в парогенераторах, установленных после газификатора, а также в радиантном охладителе синтез-газа, если таковой предусмотрен технологией.

Перегретый пар поступает на паровые турбины для выработки электроэнергии. Согласно данным, приведенным в [19], газовые турбины вырабатывают до 60 % всей электроэнергии комбинированного цикла, потери тепла с дымовыми газами после котла-утилизатора составляют около 9 % от энергии топлива (технология Shell).

Газификационный агрегат или КЦКГ также содержит установку разделения воздуха, установку Клауса для получения элементарной серы, которые вместе с их теплообменными системами достаточно описаны в литературе [4–6, 16, 17]. Кроме того, имеются теплообменные системы паровых турбин, включая узел конденсатора, охлаждения газификатора и очистки воды. В тепловой системе очистки воды может присутствовать выпарная и кристаллизационная установки для выделения осадка и возврата воды в замкнутый цикл [20].

Выводы. Проведенный анализ позволяет утверждать, что технологические схемы газификационных агрегатов и, особенно, КЦКГ, представляют собой интегрированную совокупность целого ряда химико-технологических систем. Каждая такая система имеет свою теплообменную систему, состоящую из ряда теплообменных позиций, определяющих энергетическую эффективность химико-технологических систем и всего агрегата в целом. Значительная часть теплообменного оборудования работает при высоких температурах и давлениях и в условиях изменения фазового состояния одной из рабочих сред (генерация пара). От эффективности построения теплообменных систем и работы теплообменного оборудования зависит степень утилизации тепла синтез-газа и его качество. Следует отметить основные проблемы повышения эффективности КЦКГ:

- повышение температуры синтез-газа перед камерой сгорания газовой турбины;
- повышение эффективности выработки пара высокого давления при охлаждении синтез-газа после газификации;
- повышение эффективности рекуперативных теплообменных позиций;
- снижение расхода тепла в системе сероочистки;
- снижение потерь тепла с дымовыми газами после котла-утилизатора и в конденсаторе паровых турбин.

Эти проблемы могут быть решены путем усовершенствования теплообменных систем КЦКГ.

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. J. Klemes, F. Friedler, I. Bulatov, P. Varbanov. Sustainability in the Process Industry. Integration and Optimization The McGraw-Hill Co., Inc., New York, 2011.
3. A. Nemet, P.S. Varbanov, J. J. Klemes. Waste-to-Energy Technologies Performance Evaluation Techniques. “Chemical Engineering Transactions”, 2011, v.25, p. 513-520.
4. Справочник азотчика: Физико-химические свойства газов и жидкостей. Производство технологических газов. Очистка технологических газов. Синтез аммиака. 2-е изд. перераб., –М.: Химия, 1986, – 512 с.
5. Технологія зв'язаного азоту: Підручник. Товажнянський Л.Л., Лобойко О.Я. та ін.; за ред. Лобойко О.Я. – Харків, НТУ «ХПИ», 2007, – 536 с.
6. Handbook of Gasifiers and Gas-Treatment Systems. DOE/ET 10159 – T24. 1982.
7. K.Ota, H.Ishii, Y. Koyama, Overview of CO₂ Reduction by IGCC Technology. Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Technical Review, 2008, 45, № 1. p. 18–20.
8. Лефлер У.Л. Переработка нефти. – М.: ЗАО «Олимп»; 2004, 224 с.
9. Мешалкин В.П., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А. Основы энергоэффективных экологически безопасных технологий нефтепереработки. –Х.: НТУ «ХПИ», 2011, 616 с.
10. Gasification Database. Gasification Plant Report, NETL, USDoE,2010, 191pp.

11. Gasification Technologies Project Portfolio. NETL, USDoE; Version 2006 DRAFT.
12. Bottomless Refinery Gasification. Imagination of work, General Electric company presentation, 5/24/2010, 13pp.
13. O.Mourstad. An Overview of Coal based Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Technology. MITLFEE 2005-002 WP, Massachusetts Institute of Technology, USA, Sept. 2005.
14. IGCC State-of-the-art Report^ a part of EU-FP7 Low Emission Gas Turbine Technology for Hydrogen-rich Syngas Subproject 4, WP-1-System Analysis. – University of Stavanger, Norway, April 2010, 83 pp.
15. M. Perez-Fortes, A. Bojarski, S. Ferrer-Nadal, L. Puiganeer et al. Enhanced Modeling and Integrated Simulation of Gasification and Purification Gas Units Targeted to Clean Power Production. Presentation at ESCAPE-18, Lyon, France, 1–4 June 2008.
16. Очистка технологических газов; под ред. Т.А. Семеновой, И.Л. Лейтеса. – М.: «Химия», 1977, 488 с.
17. Бекиров Г.М. Первичная переработка природных газов. – М.: «Химия», 1987, 256 с.
18. D. Fiachi, L. Lombard. Integrated Gasifies Combine Cycle Plant with Integrated CO₂ – H₂S Removal. Performance Analysis. Life-Cycle Assessment. “International Journal of Applied Thermodynamics”, 2002, № 5, 1. p. 13–24.
19. R Kehlergofer, B. Rukes, F Hanemann, F. Stinmann. Combined Cycle Gas&Steam Power Plants., 3rd edition. PennWell Corp. (USA), 2009.
20. Holcomb Expansion Project. Coal Technology Study Update. Final Report Project № 167721; Blacks&Veatch Corp., Lamar, USA, June, 18, 2010, 73 pp.

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. J. Klemes, F. Friedler, I. Bulatov, P. Varbanov. Sustainability in the Process Industry. Integration and Optimization The McGraw-Hill Co., Inc., New York, 2011.
3. A. Nemet, P.S. Varbanov, J. J. Klemes. Waste-to-Energy Technologies Performance Evaluation Techniques. “Chemical Engineering Transactions”, 2011, v.25, p. 513-520.
4. Spravochnik azotchika: Fiziko-himicheskie svojstva gazov i zhidkостей. Proizvodstvo tehnologicheskikh gazov. Oчistka tehnologicheskikh gazov. Sintez ammiaka. 2-e izd. pererab., –M.: Himija, 1986, – 512 p.
5. Tehnologija zv'jazanogo azotu: Pidruchnik. Tovazhnjans'kij L.L., Lobjko O.Ja. ta in.; za red. Lobjko O.Ja. – Harkiv, NTU «HPI», 2007, – 536 p.
6. Handbook of Gasifies and Gas-Treatment Systems. DOE ET 10159 – T24. 1982.
7. K.Ota, H.Ishii, Y. Koyama, Overview of CO₂ Reduction by IGCC Technology. Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Technical Review, 2008, 45, # 1. p. 18–20.
8. Lefler U.L. Pererabotka nefii. – М.: ZAO «Olimp»; 2004, 224 p.
9. Meshalkin V.P., Tovazhnjanskij L.L., Kapustenko P.A. Osnovy jenergojeffektivnyh jekologicheski bezopasnyh tehnologij neftepererabotki. –H.: NTU «HPI», 2011, 616 p.
10. Gasification Database. Gasification Plant Report, NETL, USDoE,2010, 191pp.
11. Gasification Technologies Project Portfolio. NETL, USDoE; Version 2006 DRAFT.
12. Bottomless Refinery Gasification. Imagination of work, General Electric company presentation, 5 24 2010, 13pp.
13. O.Mourstad. An Overview of Coal based Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Technology. MITLFEE 2005-002 WP, Massachusetts Institute of Technology, USA, Sept. 2005.
14. IGCC State-of-the-art Report^ a part of EU-FP7 Low Emission Gas Turbine Technology for Hydrogen-rich Syngas Subproject 4, WP-1-System Analysis. – University of Stavanger, Norway, April 2010, 83 pp.
15. M. Perez-Fortes, A. Bojarski, S. Ferrer-Nadal, L. Puiganeer et al. Enhanced Modeling and Integrated Simulation of Gasification and Purification Gas Units Targeted to Clean Power Production. Presentation at ESCAPE-18, Lyon, France, 1–4 June 2008.
16. Очистка tehnologicheskikh gazov; pod red. Т.А. Semenovej, И.Л. Lejtеса. – М.: «Himija», 1977, 488 p.
17. Bekirov G.M. Pervichnaja pererabotka prirodnyh gazov. – М.: «Himija», 1987, 256 p.
18. D. Fiachi, L. Lombard. Integrated Gasifies Combine Cycle Plant with Integrated CO₂ – H₂S Removal. Performance Analysis. Life-Cycle Assessment. “International Journal of Applied Thermodynamics”, 2002, # 5, 1. p. 13–24.
19. R Kehlergofer, B. Rukes, F Hanemann, F. Stinmann. Combined Cycle Gas&Steam Power Plants., 3rd. edition. PennWell Corp. (USA), 2009.
20. Holcomb Expansion Project. Coal Technology Study Update. Final Report Project # 167721; Blacks&Veatch Corp., Lamar, USA, June, 18, 2010, 73 pp.

УДК 621:664

Товажнянський Л.Л., Капустенко П.О., Бухкало С.І., Перевертайленко О.Ю., Арсеньєва О.П.

**АНАЛІЗ ТЕПЛОБМІННИХ СИСТЕМ УСТАНОВОК ГАЗИФІКАЦІЇ НЕФТЕПЕРЕРОБНИХ
ВИРОБНИЦТВ**

Розглянуто теплообмінні системи великих газифікаційних агрегатів, які використовують у якості сировини відходи нафтопереробної промисловості. Зазначені основні риси газифікаційних агрегатів для генерування електроенергії. Сформульовані основні проблеми підвищення ефективності газифікаційних агрегатів з комбінованим циклом генерування електроенергії (КЦКГ), що можна вирішити шляхом вдосконалення теплообмінних систем.

Tovazhnyansky L., Kapustenko P., Bukhkalov S., Perevertaylenko O., Arsenyeva O.

**HEAT EXCHANGERS NETWORK ANALYSIS OF GASIFICATION PLANTS FUELLED BY
WASTES OF REFINERIES**

The heat exchangers systems of big gasification plants fueled by refinery residues and wastes are discussed. The main features of such plants with power generation are underlined. The essential ways of effectiveness increasing based on heat exchangers systems enhancement are formulated for integrated gasification units with combined cycle of power generation (IGCC).

УДК 678.5

Рассоха А.Н., Черкашина А.Н.

СТРУКТУРНЫЕ И СТРУКТУРНО-РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ФУРАНО-ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

Структура полимерных композиционных материалов, в том числе и фурано-эпоксидных, в значительной мере определяется физическими и структурно-реологическими характеристиками дисперсных наполнителей [1,2].

В рамках перколяционного подхода (теории протекания) [3–5] целесообразно проанализировать структурные и структурно-реологические характеристики условно монодисперсных систем (кварцевого песка – КП, каолина – КН, периклаза – ПК, карбоната кальция – КК) со средним диаметром частиц D (при фиксированном размере межчастичных контактов d).

Представляло интерес расчетно-теоретическим и экспериментальным путем исследовать структурные и структурно-реологические свойства дисперсных систем (КП, КН, ПК, КК), применяемых в качестве наполнителей фурано-эпоксидных композиционных материалов [6].

Учитывался тот факт, что в единице объема содержится определенное количество частиц N , определяемое соотношением:

$$N = \frac{6(1 - \Pi)}{\pi D^3},$$

где Π – пористость дисперсной системы (наполнителя), об. доли.

При определенном среднем координационном числе Z проводилась оценка относительной объемной плотности упаковки частиц V , удельной поверхности системы S_o , количества контактов N_c и площади межчастичных контактов в единичном объеме S_{oc} , высоты межчастичных контактов частиц наполнителя h , высоты шарового сегмента h_o , приходящегося на один контакт, нормальной деформации частиц дисперсного наполнителя h/D .

$$V = 1 - \Pi = \frac{(1 - 2/Z)^2}{\left[8 \cdot \left(\frac{1,077 - 1}{Z - Z^{-1,16}} \right) \cdot \left(0,5 - \frac{h}{D^3} \right) \right]}; \quad \frac{h}{D} = \frac{h_o}{D - 4 \cdot (h_o/D)^2 \cdot (1,5 - h_o/D)/3};$$

$$\frac{h_o}{D} = \frac{\left[1 - (1 - d^2/D^2)^{0,5} \right]}{2}; \quad S_o = 6 \cdot (1 - \Pi) \cdot \frac{\{ 1 - Z \cdot [h_o/D - d/D(h_o - h)/D] \}}{D};$$

$$N_c = \frac{3 \cdot Z \cdot (1 - \Pi)}{\pi D^3}; \quad S_{oc} = \frac{3Z \cdot (1 - \Pi) \cdot d^2}{4D^3}.$$

Оценка среднего расстояния между центрами частиц наполнителя с учетом плотности упаковки проводилась в соответствии с зависимостью [7]:

$$L = \frac{1,19 \cdot D}{V^{1/3}}$$

Средняя нормальная деформация частиц наполнителя в зоне контакта h/D при высокой степени наполнения и значительной величине координационного числа ($7,3 \leq Z \leq 14$) в первом приближении составляет $h/D = (z - 7,3)/158$ [4].

В свободном состоянии при $d = 0$ высота межчастичных контактов h , нормальная деформация частиц h/D (до $Z \leq 7,3$) и ряд других параметров анализируемой модели (h_o , S_{oc}) практически равны нулю. Среднее координационное число Z , характеризующее число частиц, с которыми центральная частица контактирует в первой координационной зоне в рамках рассматриваемого подхода в значительной мере

определяет относительную объемную упаковку частиц наполнителя V , пористость дисперсной системы в свободном состоянии Π и другие анализируемые характеристики (табл. 1).

Таблица 1 – Структурные параметры дисперсных наполнителей в свободном состоянии

Z	V , об. доли	Π , об. доли	D , мкм	S_o , мкм ² /мкг	N_c	L , мкм	D/L	h/D
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2,64	0,157	0,843	0,1	9,42	396	0,221	0,452	–
			1	0,942	0,396	2,205	0,453	–
			10	0,094	$0,4 \cdot 10^{-3}$	22,06	0,453	–
			50	0,019	$3,1 \cdot 10^{-6}$	110,29	0,453	–
			100	0,009	$0,4 \cdot 10^{-6}$	220,6	0,453	–
			500	$1,88 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-9}$	1102,9	0,453	–
			1000	$9,42 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-9}$	2205,7	0,453	–
3	0,239	0,761	0,1	14,34	685	0,190	0,526	–
			1	1,343	0,685	1,917	0,522	–
			10	0,143	$0,7 \cdot 10^{-3}$	19,17	0,522	–
			50	0,029	$5,5 \cdot 10^{-6}$	95,87	0,521	–
			100	0,014	$0,7 \cdot 10^{-6}$	191,75	0,522	–
			500	0,003	$5,5 \cdot 10^{-9}$	958,75	0,521	–
			1000	0,001	$0,7 \cdot 10^{-9}$	1917,5	0,522	–
4	0,399	0,601	0,1	23,94	1525	0,162	0,617	–
			1	2,394	1,525	1,616	0,619	–
			10	0,239	$1,5 \cdot 10^{-3}$	11,41	0,619	–
			50	0,048	$12,2 \cdot 10^{-6}$	80,82	0,619	–
			100	0,024	$1,5 \cdot 10^{-3}$	161,64	0,619	–
			500	0,005	$12,2 \cdot 10^{-9}$	808,2	0,619	–
			1000	0,002	$1,5 \cdot 10^{-3}$	1616,4	0,619	–
5	0,498	0,501	0,1	29,94	2384	0,151	0,662	–
			1	2,994	2,384	1,501	0,666	–
			10	0,299	$2,4 \cdot 10^{-3}$	15,01	0,666	–
			50	0,06	$19,1 \cdot 10^{-6}$	75,07	0,666	–
			100	0,03	$2,4 \cdot 10^{-6}$	150,14	0,666	–
			500	0,006	$19,1 \cdot 10^{-9}$	750,69	0,666	–
			1000	0,003	$2,4 \cdot 10^{-9}$	1501,4	0,666	–
6	0,574	0,426	0,1	34,44	3290	0,143	0,699	–
			1	3,444	3,29	1,43	0,699	–
			10	0,344	$3,3 \cdot 10^{-3}$	14,32	0,699	–
			50	0,069	$26,3 \cdot 10^{-6}$	71,59	0,699	–
			100	0,034	$3,3 \cdot 10^{-6}$	143,18	0,699	–
			500	0,007	$26,3 \cdot 10^{-9}$	759,92	0,699	–
			1000	0,004	$3,3 \cdot 10^{-9}$	1431,8	0,699	–
7	0,614	0,386	0,1	36,84	4106	0,140	0,714	–
			1	3,684	4,106	1,4	0,714	–
			10	0,368	$4,1 \cdot 10^{-3}$	14,0	0,714	–
			50	0,074	$32,8 \cdot 10^{-6}$	70,0	0,714	–
			100	0,037	$4,1 \cdot 10^{-6}$	140,01	0,714	–
			500	0,007	$32,8 \cdot 10^{-9}$	700,08	0,714	–
			1000	0,004	$4,1 \cdot 10^{-9}$	1400,2	0,714	–
8	0,653	0,347	0,1	39,18	4991	0,137	0,730	0,0044
			1	3,919	4,991	1,372	0,729	0,0044
			10	0,392	$5,0 \cdot 10^{-6}$	13,72	0,729	0,0044
			50	0,078	$39,9 \cdot 10^{-3}$	48,43	0,729	0,0044
			100	0,039	$5,0 \cdot 10^{-6}$	137,16	0,729	0,0044
			500	0,008	$5,0 \cdot 10^{-9}$	483,29	0,729	0,0044
			1000	0,004	$5,0 \cdot 10^{-9}$	1371,6	0,729	0,0044

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	0,706	0,294	0,1	42,36	7358	0,134	0,746	0,0297
			1	4,236	8,094	1,336	0,748	0,0297
			10	0,424	$8,1 \cdot 10^{-3}$	13,36	0,748	0,0297
			50	0,085	$64,7 \cdot 10^{-7}$	66,82	0,748	0,0297
			100	0,042	$8,1 \cdot 10^{-6}$	133,65	0,748	0,0297
			500	0,008	$64,7 \cdot 10^{-9}$	668,24	0,748	0,0297
			1000	0,004	$8,1 \cdot 10^{-9}$	1336,5	0,748	0,0297
14	0,766	0,234	0,1	45,96	10246	0,130	0,769	0,0424
			1	4,596	10,246	1,3	0,769	0,0424
			10	0,460	$10,2 \cdot 10^{-3}$	13,01	0,769	0,0424
			50	0,092	$82,0 \cdot 10^{-6}$	65,03	0,769	0,0424
			100	0,046	$10,2 \cdot 10^{-6}$	130,05	0,769	0,0424
			500	0,009	$82,6 \cdot 10^{-9}$	650,27	0,769	0,0424
			1000	0,005	$10,2 \cdot 10^{-9}$	1300,5	0,769	0,0424

Значение параметра Z определяется типом решетки. Для правильных пространственных решеток, к которым относятся гексагональная, кубическая (простая, объемно центрированная и гранецентрированная), тетраэдрическая, а также для первичного бесконечного перколяционного кластера координационные числа Z являются известными величинами (табл. 2)

Таблица 2 – Параметры пространственных решеток

Тип решетки	Координационное число Z
Первичный бесконечный перколяционный кластер	2,64
–	3
Тетраэдрическая	4
–	5
Простая кубическая	6
–	7
Объемно центрированная кубическая	8
Гексагональная, гранецентрированная кубическая	12
–	14

Для оценки реологических параметров дисперсных наполнителей целесообразно применять параметры "уплотняемость" и "индекс трения", при определении которых дисперсная система оценивается в двух разных состояниях – при свободной насыпке и после уплотнения [2].

Определение структурно-реологических свойств исследованных дисперсных наполнителей различного фракционного состава – истинной ρ и насыпной $\rho_{нас}$ плотности, коэффициента заполнения объема φ_m , пористости ε , плотности после уплотнения ρ_y , уплотняемости U , индекса трения I , угла естественного откоса α осуществлялась по известным методикам [2]. Количество параллельных опытов на одну экспериментальную точку: 15–20 (табл. 3).

Анализ данных табл. 2 и табл. 3, полученных расчетно-теоретическим и экспериментальным путем, свидетельствует об определенном расхождении анализируемых параметров. Одной из существенных причин выявленного факта является значительная полидисперсность исследованных наполнителей (гранулометрический состав данных дисперсных систем приведен в табл. 4).

Таблица 3 – Структурно-реологические свойства исследованных наполнителей фракции менее 125 мкм (дисперсионная среда – воздух)

Наполнитель	ρ , кг/м ³	$\rho_{нас}$, кг/м ³	φ_m	ε , %	ρ_y , кг/м ³	Y	I	α , град
КП	2650	1157	0,44	56	1380	0,162	1,193	<u>33,6</u> 22,5
КН	2580	880	0,34	66	985	0,107	1,119	42
ПК	3800	1970	0,52	48	2110	0,066	1,071	21
КК	2710	960	0,35	64	1182	0,188	1,231	49

Примечание: знаменатель – угол естественного откоса при падении дисперсного материала с высоты 1 м.

Таблица 4 – Гранулометрический состав систем (фракция менее 125 мкм)

Размер частиц, мкм	КП	КН	КК	ПК
– менее 1,5	1,9	13,7	0	0,5
– 1,5–3,0	1,7	8,7	0	1,2
– 3–5	3,0	0	7	3,1
– 5–10	20,7	7,4	18	15,8
– 10–20	10,7	15,9	28	8,5
– 20–30	13,0	19,7	21	10,3
– 30–50	16,6	0	12	25,6
– 50–125	32,4	34,5	14	35,0

Важное значение на характер изменения структурно-реологических свойств дисперсных наполнителей фурано-эпоксидных композитов оказывает влажность анализируемой системы.

Воду, содержащуюся в поверхностных и приповерхностных слоях наполнителя (табл. 5) условно можно разделить на два типа: поверхностную влагу, относительно легко удаляемую при нагревании в течение 2 ч при 105 °С (экспериментально определяемую) и «конституционную» влагу, входящую в структуру дисперсной системы и при удалении которой (при температуре выше 300 °С) происходят структурные изменения твердой фазы. В первом приближении ее содержание примерно равно концентрации поверхностной влаги [1].

Таблица 5 – Влажность исследованных наполнителей

Наименование параметра	Содержание влаги (% масс.) в			
	КП	КН	ПК	КК
Поверхностная влага	0,15	0,53	0,20	0,20
«Конституционная» влага	≈ 0,15	≈ 0,50	≈ 0,20	≈ 0,20
Суммарное содержание влаги	≈ 0,30	≈ 1,03	≈ 0,40	≈ 0,40

Как видно из табл. 5, в спектре исследованных наполнителей можно условно выделить две группы дисперсных систем по влажности: 1 – КП, ПК, КК и 2 – КН.

Таким образом, проведенный комплексный анализ структурных и структурно-реологических свойств дисперсных наполнителей позволяет с достаточной степенью точности и достоверности осуществлять рецептурно-технологические исследования по формированию рациональной структуры фурано-эпоксидных композиционных материалов, рекомендованных к использованию в строительной индустрии в качестве конструкционных и защитных материалов.

Литература

1. Наполнители для полимерных композиционных материалов: Справочное пособие / Под ред. Г.С. Каца.– М.: Химия, 1981.– 736 с.: ил.
2. Андрианов Е.И. Методы определения структурно–механических характеристик порошкообразных материалов. – М.: Химия, 1982. – 256 с.: ил.
3. Соломатов В.И., Бобрышев А.Н., Химмлер К.Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве / Под ред. В.И. Соломатова.– М.: Стройиздат, 1988.– 312 с.:ил.
4. Крючков Ю.Н. Оценка структуры монодисперсных керамических композитов // Стекло и керамика.– Стекло и керамика.– 2011.– № 4.– С. 10–13
5. Крючков Ю.Н. Структура и нелинейные структурные эффекты проницаемых и композиционных материалов.– Гжель, ГТХПИ, 2006.– 256 с.: ил.
6. Новиков В.У. Полимерные материалы для строительства: Справочник.– М.: Высш. шк., 1995.– 448 с.: ил.
7. Чандрасекар С. Статистические проблемы в физике и астрономии.– М.: Иностран. Лит., 1947.– 128 с.: ил.

Bibliography (transliterated)

1. Napolniteli dlja polimernyh kompozicionnyh materialov: Spravochnoe posobie Pod red. G.S. Kaca.– М.: Himija, 1981.– 736 p.: il.
2. Andrianov E.I. Metody opredelenija strukturno–mehaničeskikh harakteristik poroshkoobraznyh materialov. – М.: Himija, 1982. – 256 p.: il.
3. Solomatov V.I., Bobryshev A.N., Himmler K.G. Polimernye kompozicionnye materialy v stroitel'stve Pod red. V.I. Solomatova.– М.: Strojizdat, 1988.– 312 p.:il.
4. Krjuchkov Ju.N. Ocenka struktury monodispersnyh keramicheskikh kompozitov Steklo i keramika.– Steklo i keramika.– 2011.– # 4.– p. 10–13
5. Krjuchkov Ju.N. Struktura i nelinejnye strukturnye jeffekty pronicaemyh i kompozicionnyh materialov.– Gzhel', GTHPИ, 2006.– 256 p.: il.
6. Novikov V.U. Polimernye materialy dlja stroitel'stva: Spravochnik.– М.: Vyssh. shk., 1995.– 448 p.: il.
7. Chandrasekar S. Statisticheskie problemy v fizike i astronomii.– М.: Inostran. Lit., 1947.– 128 p.: il.

УДК 678.5

Рассоха О.М., Черкашина Г.М.

**СТРУКТУРНІ ТА СТРУКТУРНО-РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДИСПЕРСНИХ
НАПОВНЮВАЧІВ ФУРАНО-ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ**

Розглянуті питання щодо розрахунково-теоретичних та експериментальних досліджень структурних та структурно-реологічних властивостей дисперсних наповнювачів (кварцовий пісок, каолін, периклаз) фурано-епоксидних полімерних композиційних матеріалів.

Rassokha A.N. Cherkashyna A.N.

**STRUCTURAL AND STRUCTURAL-RHEOLOGICAL PROPERTIES OF DISPERSE FILLERS
FOR FURAN-EPOXY COMPOSITES**

The theoretical and experimental investigations of structural and structural-rheological properties of disperse fillers (silica sand, kaolin, periclase) furan-epoxy polymer composite material are described.

Шерстюк А.В., Харлампики Д.Х., Братута Э.Г.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН И ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

В последние годы в холодильных машинах (ХМ) и тепловых насосах (ТН) стали использовать так называемые природные хладагенты, среди которых особое место занимает углекислота (R744). Для этого хладагента характерна низкая критическая температура ($T_{кр} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$, $P_{кр} = 73,83 \text{ бар}$), поэтому для отвода теплоты в холодильном цикле при температуре выше, чем критическая используется конвективное охлаждение газа, а сам цикл при этом, является сверхкритическим. Особенностью сверхкритических циклов является то, что давление и температура в сверхкритической области не являются однозначно связанными параметрами, поэтому при проектировании ХМ или ТН давление нагнетания в цикле можно выбрать фактически любым, что безусловно повлияет на энергетическую эффективность установки. Преимуществом таких систем, является значительное изменение температуры газообразного R744 в сверхкритической области, которое позволяет осуществить нагрев теплоносителя в газоохладителе ТН до более высокой температуры при сравнительно небольших затратах энергии на привод компрессора. Кроме того, при проектировании газоохладителя ТН температурные эпюры хладагента и теплоносителя могут быть спроектированы таким образом, чтобы необратимые потери вследствие конечной разности температур были минимальны [1].

Известно [2], что использование энергетических критериев, таких как холодильный коэффициент или коэффициент преобразования дает только интегральную оценку эффективности. В некоторых случаях эти показатели даже могут дезориентировать, поскольку далеко несовершенная в термодинамическом отношении установка при определенном сочетании параметров в сверхкритическом цикле может иметь относительно высокие энергетические показатели, в то же время, потери от необратимости процессов в такой системе могут быть достаточно велики. Как известно [3], именно эксергетические потери, в итоге и определяют процесс «старения» технической системы и износа основных ее элементов. Поэтому окончательные выводы относительно эффективности сверхкритических ХМ и ТН могут быть сделаны только на основе детального анализа эксергетических потерь в элементах. Для этого, необходима разработка методики термодинамического анализа сверхкритического цикла.

Термодинамический анализ циклов целесообразно проводить, используя цикл-образец. Как известно [11], цикл-образец должен воспроизводить термодинамический характер процессов внешней среды, совершая их в обратном направлении без роста энтропии в системе. Установление цикла-образца сводится к нахождению цикла с минимальной работой. При этом результаты анализа целиком зависят от правильного выбора цикла образца.

Вопрос выбора цикла образца для сверхкритических циклов на наш взгляд, является дискуссионным. Использование универсальных циклов-образцов, таких как Карно и Лоренца, возможное в принципе, в данном случае может привести к неоднозначности результатов в оценке эффективности ХМ или ТН.

Обратный равновесный цикл Карно не является единственно возможным циклом для ТН и ХМ. Он применим при изотермном характере процессов подвода теплоты к рабочему телу и отвода теплоты в цикле. Если же процессы в источнике и приемнике теплоты являются политропными и обратимыми, то эталонным будет цикл Лоренца [4]. Наличие в сверхкритическом цикле участка с неизотермным отводом теплоты позволяет использовать в качестве цикла-образца цикл Лоренца, однако не стандартный его вид, а модификацию. Такой модифицированный цикл Лоренца-Карно включает следующие процессы: изобарно-изотермного подвода теплоты, изоэнтропного сжатия, изобарного и неизотермного отвода теплоты (охлаждения) и изоэнтропного расширения. Отметим, что модифицированный цикл может быть использован в качестве образца только в том случае, если в процессах соблюдается условие термического равновесия между охлаждаемым рабочим веществом в газоохладителе и теплоносителем, т.е. температура рабочего вещества должна изменяться так же, как изменяется в процессе нагрева температура теплоносителя. Это условие для сверхкритического цикла безусловно соблюдается.

Коэффициент преобразования ТН для эталонного цикла Лоренца-Карно можно представить в виде

$$\mu_{\text{Лоренца-Карно}} = \frac{T_{w2} - T_{w1}}{(T_{w2} - T_{w1}) - T_s \cdot \ln(T_{w2}/T_{w1})}, \quad (1)$$

где T_{w1} и T_{w2} – температура теплоносителя на входе и выходе из газоохладителя; T_s – температура низко-

потенциального источника.

Степень термодинамического совершенства ТН для сверхкритических параметров с учетом внешней необратимости в цикле будет равна

$$\eta_{\text{стс}} = \frac{\mu_{\text{д}}}{\mu_{\text{Лоренца-Карно}}}, \quad (2)$$

где $\mu_{\text{д}}$ – коэффициент преобразования действительного цикла ТН.

Степень термодинамического совершенства ХМ для сверхкритических параметров без учета внешней необратимости в цикле

$$\eta_{\text{стс}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\text{Лоренца-Карно}}}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_{\text{Лоренца-Карно}} = \frac{T_0}{T_{\text{ГО}}^{\text{ср}} - T_0}$; $T_{\text{ГО}}^{\text{ср}} = \frac{i_2 - i_3}{S_2 - S_3}$ – среднетермодинамическая температура в газоохладителе.

Выражения (2) и (3) позволяют только интегрально оценить термодинамическое совершенство сверхкритической системы. Вместе с тем, для того чтобы определить потери от необратимости в каждом элементе, используя энтропийно-цикловой метод анализа [4], необходимо вписать цикл-образец в действительный цикл ХМ. В этом состоит определенная сложность, требующая пояснения. Как известно [4], главным условием при построении цикла-образца является одинаковая холодопроизводительность с действительным циклом. При этом, вписанный цикл-образец строится при средних температурах охлаждающего теплоносителя и источника теплоты и не должен выходить за контуры действительного цикла. Если вписать в действительный цикл ХМ цикл-образец Лоренца-Карно, то средняя температура в процессе отвода теплоты в цикле-образце может быть равна или превышать среднетермодинамическую температуру хладагента в газоохладителе для действительного цикла, что, разумеется, невозможно. Поэтому при анализе потерь от необратимости, следует использовать в качестве вписанного цикла-образца цикл Карно, однако построенный при начальной температуре охлаждающего теплоносителя в газоохладителе и конечной температуре источника теплоты в испарителе. Такое допущение возможно, поскольку основным параметром, определяющим уровень отвода теплоты в сверхкритическом цикле является температура хладагента на выходе из газоохладителя (ГО), непосредственно зависящая от температуры теплоносителя на входе в ГО.

Ниже предлагается методика энтропийно-циклового анализа процессов в сверхкритическом цикле.

По имеющемуся действительному сверхкритическому циклу 1–2–3–4 (рис. 1) проведем построение цикла-образца в температурных границах t_{w1} и t_{s2} .

Цикл-образец ($a-b-c-d$) внутренне и внешне обратим. Для обеспечения равенства холодопроизводительности действительного и эталонного циклов проведем следующие перепостроения. Точка d должна находиться на пересечении изоэнтальпийного процесса дросселирования 3–4 и изотермы t_{s2} . Таким образом, выполняется условие равенства энтальпий $i_3 = i_4$ и $i_4 = i_d$. Основанием цикла-образца является отрезок ($a-d$). При построении цикла-образца следует мысленно удалить кривую насыщения. Точка a эталонного цикла располагается на пересечении линии $i_1 = \text{const}$ и изотермы t_{s2} . Положение точки b находится на пересечении линии температуры $t_{w1} = \text{const}$ с процессом изоэнтропного сжатия ($a-b$) в эталонном цикле. Положение точки c цикла-образца определяется пересечением линии $t_{w1} = \text{const}$ с процессом изоэнтропного расширения ($c-d$). Таким образом, удельная холодопроизводительность действительного $i_1 - i_4$ (площадь $f-1-4-w$) равна удельной холодопроизводительности эталонного цикла $i_a - i_d$ (площадь $j-a-d-z$).

Эксергетические потери в компрессоре вследствие необратимости процесса сжатия

$$E_{\text{км}} = T_{\text{ос}} (S_2 - S_1) = \text{площадь } (f-k-h-g-f). \quad (4)$$

В точке 3 цикла (см. рис. 1) хладагент обладает запасом потенциальной энергии, которая эквивалентна по площади фигуре (3–e–4–d–c–m–3). При дросселировании потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию струи потока хладагента, которая в результате торможения за дросселем переходит в теплоту трения и подводится к самому рабочему телу. Необратимые потери в процессе этого перехода равны

$$E_{\text{др}} = T_{\text{ос}} (S_4 - S_3) = \text{площадь } (3-e-4-d-c-m-3). \quad (5)$$

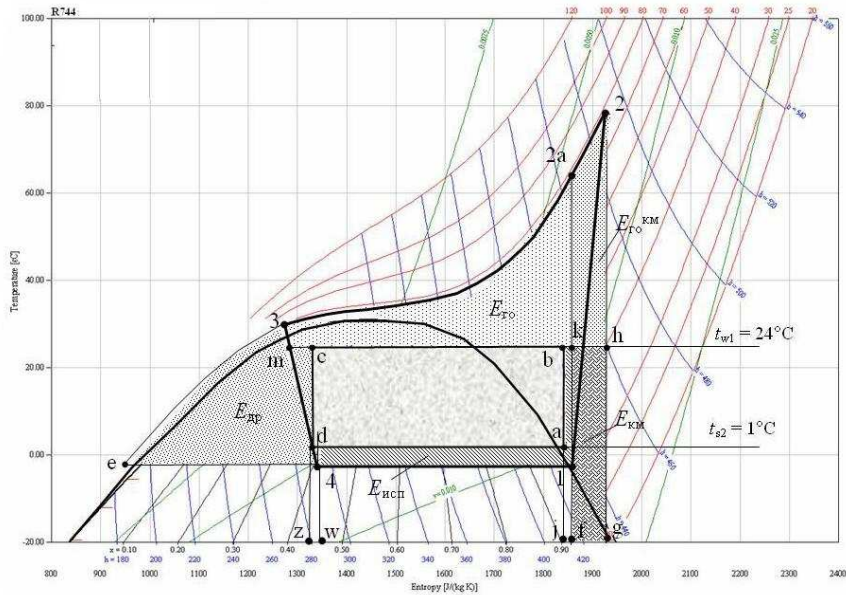


Рисунок 1 – Построение цикла-образца в S–T –диаграмме и определение эксергетических потерь в элементах сверхкритической ХМ

Эксергетические потери в испарителе

$$E_{\text{исп}} = T_{\text{oc}} (S_1 - S_4) - (i_1 - i_4) \frac{T_{\text{oc}}}{\bar{T}_{\text{исп}}} = n l (1 - k - b - a - d - 4 - l), \quad (6)$$

где $\bar{T}_{\text{исп}} = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{\ln(T_{s1}/T_{s2})}$.

Потери от необратимости в газоохладителе по данным [5]

$$E_{\text{го}} = (i_2 - i_3) \frac{T_{\text{oc}}}{\bar{T}_{\text{го}}} - T_{\text{oc}} (S_2 - S_3) + \left(-RT_{\text{oc}} \ln \left(1 - \frac{\Delta P_{\text{го}}}{P_2} \right) \right) = \text{площадь } (h - 2 - 2a - 3 - m - c - b - k - h), \quad (7)$$

где $\bar{T}_{\text{го}} = \frac{T_{w2} - T_{w1}}{\ln(T_{w2}/T_{w1})}$; R – универсальная газовая постоянная; $\Delta P_{\text{го}}$ – потери давления по тракту газоохладителя; T_{oc} – температура окружающей среды.

Часть эксергетических потерь в газоохладителе $E_{\text{го}}^{\text{кМ}}$ связана с необратимостью процесса сжатия в компрессоре. Эти потери обусловлены взаимодействием параметров газоохладителя и компрессора.

$$E_{\text{го}}^{\text{кМ}} = (S_2 - S_1) (\bar{T}_{2-2a} - T_{\text{oc}}) = \text{площадь } (h - 2 - 2a - k - h), \quad (8)$$

где $\bar{T}_{2-2a} = \frac{i_2 - i_{2a}}{S_2 - S_{2a}}$.

Эксергетический КПД при комплексном использовании теплоты и холода, как следует из [5], определяется соотношением

$$\eta_{\text{экс}} = \frac{e_{\text{го}} + e_{\text{исп}}}{l_{\text{кМ}}}, \quad (9)$$

где $e_{\text{го}} = (q_{\text{го}} - T_{\text{oc}} (S_2 - S_3)) - E_{\text{го}}$ – удельная эксергия, отведенная в газоохладителе; $l_{\text{кМ}} = (i_{2a} - i_1) / \eta_{\text{ис}}$ –

удельная работа сжатия в компрессоре; $e_{исп} = q_{исп} \left(1 - \frac{T_{ос}}{T_{исп}} \right)$ – эксергия отведенная в испарителе; $q_{исп}$ и $q_{го}$ – удельная холодопроизводительность и теплопроизводительность соответственно.

Эксергетический коэффициент преобразования энергии [7]

$$\eta_{пр.эн}^{экс} = \frac{(q_{исп} - T_{ос}(S_1 - S_4)) + (q_{го} - T_{ос}(S_2 - S_3))}{l_{км} - T_{ос}(S_2 - S_1)}$$

На рис. 2–4 показан характер распределения эксергетических потерь $E_{D,k}$ в элементах ТН, а также величин $\eta_{стс}$, $\eta_{пр.эн}^{экс}$ и $\eta_{экс}$ при варьировании P_2 .

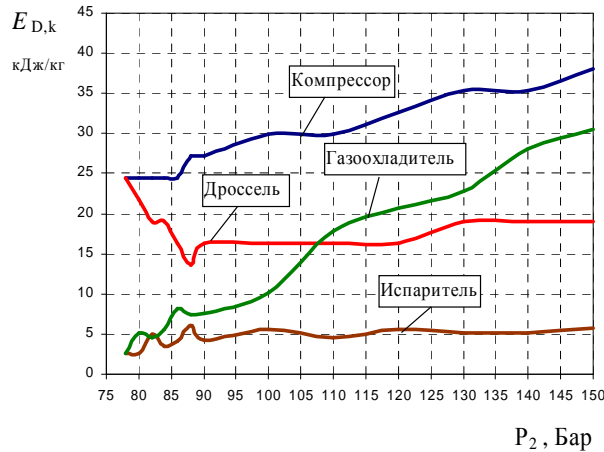


Рисунок 2 – Характер изменения эксергетических потерь в элементах ТН с R744 при варьировании давления нагнетания в сверхкритическом цикле

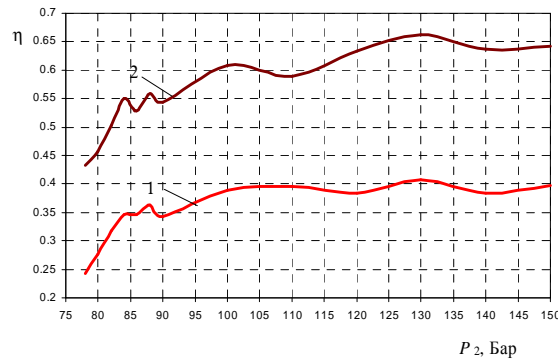


Рисунок 3 – Влияние давления нагнетания на изменение $\eta_{стс}$ и $\eta_{пр.эн}^{экс}$
1 – $\eta_{стс}$; 2 – $\eta_{пр.эн}^{экс}$

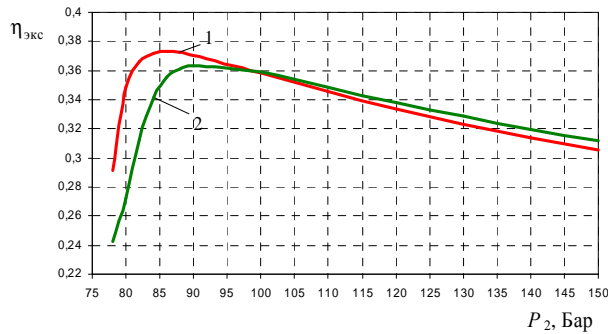


Рисунок 4 – Влияние на эксергетический КПД ТН давления нагнетания
1 – $t_3 = 34 \text{ }^\circ\text{C}$; 2 – $t_3 = 36 \text{ }^\circ\text{C}$

Зависимости получены при следующих исходных данных: $t_0 = -4$ °С; $\Delta T_{\text{пер}} = 5$ К; $\eta_{is} = 0,5$; $t_3 = 36$ °С, $T_{oc} = 272$ К, $t_{s1} = 8$ °С; $t_{s2} = 1$ °С, температура теплоносителя на входе в газоохладитель $T_{w1} = 24$ °С, на выходе $T_{w2} = 64$ °С. По результатам термодинамического анализа сверхкритических циклов можно сделать вывод, что значению $P_2^{\text{опт}}$ в цикле не соответствует минимальное значение эксергетических потерь ни в одном из элементов ТН. Эксергетические потери в каждом элементе имеют минимум при значениях P_2 , не совпадающих с $P_2^{\text{опт}}$. Этот эффект, является типичным проявлением системных интегративных свойств.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы.

1. Предложенная методика позволяет оценить термодинамическую эффективность циклов ТН и ХМ не только на основе традиционно используемых коэффициента трансформации и холодильного коэффициента, но и на базе анализа эксергетических потерь, определяющих степень необратимости соответствующих процессов.

2. Установлен характер изменения эксергетических потерь в элементах ХМ и ТН при варьировании давления нагнетания в сверхкритическом цикле, а также установлены зависимости эксергетического КПД ТН в функции давления нагнетания при различных температурах рабочего тела в газоохладителе.

Литература

1. Калнинь И. М. Условия эффективного применения диоксида углерода в качестве рабочего вещества для тепловых насосов / И. М. Калнинь, В. А. Васютин, С. Б. Пустовалов // Холодильная техника. – 2003. – № 7. – С. 7–12.
2. Азиз М.А. Анализ термодинамической эффективности с использованием теплоты конденсации / М.А. Азиз, В.П. Гаврилкин / Холодильная техника и технология. – 1987. – № 44. – С. 69–72.
3. Архаров А.М., Основы энтропийно–статистического анализа реальных энергетических потерь в низкотемпературных и высокотемпературных машинах и установках / А.М. Архаров, В.М. Сычев / Холодильная техника. – 2005. – №. 12. – С. 14–23.
4. Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. – Одесса: Негоциант, 2006. – 721 с.
5. Sarkar J. Optimization of a transcritical CO₂ heat pump cycle for simultaneous cooling and heating applications / J. Sarkar, Souvik Bhattacharyya, M. Ram Gopal // Int. J. Refrigeration. –2004. – Vol. 27, № 8. – P. 830–838.

Bibliography (transliterated)

1. Kalnin' I. M. Usloviya jeffektivnogo primenenija dioksida ugleroda v kachestve rabocheho veshhest-va dlja teplovyh nasosov / I. M. Kalnin', V. A. Vasjutin, S. B. Pustovalov / Holodil'naja tehnika. – 2003. – # 7. – p. 7–12.
2. Aziz M.A. Analiz termodinamicheskoj jeffektivnosti s ispol'zovaniem teploty kondensacii / M.A. Aziz, V.P. Gavrilkin / Holodil'naja tehnika i tehnologija. – 1987. – # 44. – p. 69–72.
3. Arharov A.M., Osnovy jentropijno–statisticheskogo analiza real'nyh jenergeticheskikh poter' v nizkotemperaturnyh i vysokotemperaturnyh mashinah i ustanovkah / A.M. Arharov, V.M. Sychev / Holodil'naja tehnika. - 2005. - #. 12. - p. 14–23.
4. Morozjuk T.V. Teorija holodil'nyh mashin i teplovyh nasosov. - Odessa: Negociant, 2006. - 721 p.
5. Sarkar J. Optimization of a transcritical CO₂ heat pump cycle for simultaneous cooling and heating applications / J. Sarkar, Souvik Bhattacharyya, M. Ram Gopal / Int. J. Refrigeration. -2004. - Vol. 27, # 8. - P. 830–838.

УДК 621.564; 621.577

Шерстюк О.В., Харлампіди Д.Х., Братута Е.Г.

ТЕРМОДИНАМІЧНЕ ТЕСТУВАННЯ НАДКРИТИЧНИХ ЦИКЛІВ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН І ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

Проведено аналіз впливу режимних параметрів на енергетичну та эксергетичну ефективність холодильних машин та теплових насосів, що працюють за надкритичним циклом з холодоагентом R744. Розроблено методику термодинамічного аналізу надкритичних циклів. Вивчено вплив тиску нагнітання у надкритичному циклі на характер розподілення эксергетичних втрат у елементах холодильних машин та теплових насосів.

Sherstiuk A.V., Kharlampidi D.Kh., Bratuta E.G.

**THERMODYNAMIC TESTING OF OVERCRITICAL CYCLES OF REFRIGIRATING MASHINES
AND HEAT PUMPS**

The analysis of regime paramaters influence on energy and exergy efficiency of refrigerating mashines and heat pumps that works by overcritical cycle with R744 as refrigerating medium has bee carried out. The methos of thermodynamic analysis of overcritical cycles has been worked out. The influence of saturation pressure for overcritical cycle on exergy losses distribution in refrigerating mashines and heat pumps has been studied out.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ФЕРМЕНТАТИВНОГО АЦИДОЛІЗУ ЖИРІВ

Вступ. На сьогодні однією з основних задач розвитку агрокомплексу України, базовою галуззю якого виступає оліно-жирова промисловість, є виробництво і впровадження соціально значущих жирних продуктів.

Як відомо, жири в організмі людини виконують роль будівельного матеріалу для кліткових мембран та є джерелом енергії для забезпечення процесів життєдіяльності. В той же час, внаслідок дефіциту одного чи декількох корисних компонентів, жоден з природних ліпідів за своїм жирнокислотним складом не є ідеально фізіологічно повноцінним продуктом.

У зв'язку з цим постає реальна потреба у розробці нових та вдосконаленні вже існуючих технологій модифікування рослинних олій. Дані технології дозволяють отримувати функціональні жири з високою харчовою і біологічною цінністю та оптимальним сполученням жирних кислот. Використання вказаних функціональних жирів в повсякденному раціоні людини може вирішити проблему підвищення рівня збалансованого харчування населення, а також нормалізацію ліпідного обміну, порушення якого спричиняє виникнення таких захворювань як атеросклероз, ішемічна хвороба серця, ожиріння, гепатит та ін.

Інноваційним продуктом нового покоління у категорії спеціальних жирів у наш час постають так звані структуровані ліпіди (СТЛ), які за своєю хімічною будовою представляють собою триацилгліцерини (ТАГ), в яких жирні кислоти розташовані у специфічному положенні гліцеринового скелету [1]. Саме природа жирної кислоти та її позиція у молекулі ТАГ визначає функціональні та фізичні властивості, метаболічний шлях і ефективність структурованого ліпиду.

Довжина ланцюга середньоланцюгових жирних кислот варіюється від $C_{6:0}$ до $C_{12:0}$. Швидкість метаболізму вказаних кислот дорівнюється до швидкості метаболізму глюкози в організмі без відкладення жиру у жирових депо, внаслідок низької швидкості переетерифікації в триацилгліцерини.

Довголанцюгові жирні кислоти (від $C_{14:0}$ до $C_{24:0}$) перешкоджають потраплянню хіломікронів у загальну систему циркуляції крові, шляхом блокування кишкових клітин – місця локалізації хіломікронів. Існує декілька типів доголанцюгових жирних кислот. ω -6 та ω -3 кислоти не синтезуються в організмі людини і позиціонуються як есенціальні. Вони інгібують біосинтез ейкозаноїдів в тканині та мають протизапальну дію. Дієта з вмістом ω -3 кислот підвищує синтез ліпопротеїдів високої щільності, знижуючи при цьому концентрацію ліпопротеїдів низької та дуже низької щільності. ω -9 жирні кислоти сприяють зниженню концентрації холестерину в організмі.

Серед відомих методів модифікування ліпідів, ферментативні реакції мають низку переваг перед традиційними хімічними процесами: більш м'які умови, висока каталітична ефективність та селективність каталізатору. В наш час ферментативний ацидоліз є одним з найбільш придатних методів модифікації жирів.

В процесі ацидолізу риб'ячого жиру та каприлової кислоти з використанням 1,3 специфічної ліпази з *Rhizomucor miehei* було отримано структуровані ліпіди, збагачені ω -3 поліненасиченими жирними кислотами (ейкоза- та докозапентаєнова кислоти) у позиції sn-2 триацилгліцеринового скелету [2]. При рівноважному стані реакції склад СТЛ наступний: каприлова кислота – 57 %, ейкозапентаєнова – 5,1 %, докозапентаєнова – 10,0 % та пальмітинова кислота – 6,3 %.

В роботі [3] пропонується синтез 1,3-діолеоїлу-2-пальмітогліцерину методом ферментативного ацидолізу трипальмітину з олеїновою кислотою. У якості біокаталізатору використовується ліпаза IM-60 з *Mucor miehei*. Жирокислотний аналіз продукту показав 90,7 % пальмітинової та 9,3 моль% олеїнової кислоти у sn-2 положенні ТАГ. При цьому 74 моль% вихідного триацилгліцерину перетворилося на 1,3-діолеоїл-2-пальмітогліцерин.

В той же час при модифікуванні олії каноли, що має підвищений вміст лауринової кислоти, методом біокаталітичного ацидолізу з ейкозапентаєновою кислотою були отримані оптимальні параметри процесу, які забезпечують максимальний вихід структурованих ліпідів 66,9 %: мольне співвідношення 1:3, час реакції 36 годин, вміст ферменту 4 %, температура 45 °C [4]. Швидкість реакції при цьому зростала при збільшенні температури від 35 °C до 45 °C.

Мета досліджень. Мета даної роботи полягала у визначенні оптимальних параметрів процесу ензимного ацидолізу жирів за критерієм максимального виходу двозаміщених структурованих ліпідів.

Експериментальна частина. Поставлену задачу було реалізовано шляхом попереднього планування експерименту з використанням методики поверхні відклику. Для математичного опису досліджуваного процесу було обрано функцію відклику, яка представляє собою поліном другого ступеня:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot t + b_{11} \cdot t^2 + b_2 \cdot e + b_{22} \cdot e^2 + b_3 \cdot m + b_{33} \cdot m^2 + b_4 \cdot \tau + b_{44} \cdot \tau^2 + b_{12} \cdot t \cdot e + b_{13} \cdot t \cdot m + b_{14} \cdot t \cdot \tau + b_{23} \cdot e \cdot m + b_{24} \cdot e \cdot \tau + b_{34} \cdot m \cdot \tau, \quad (1)$$

де Y – ступінь перетворення вихідних триацилгліцеринів у двозаміщені структуровані ліпіди (СП), %; t – температура реакції, °C; e – вміст ферменту, %; m – мольне співвідношення жирна кислота:триацилгліцерини; τ – час реакції, год; b_0 – константа; $b_1, b_{11}, b_2, b_{22}, b_3, b_{33}, b_4, b_{44}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}$ – коефіцієнти для кожного елементу полінома.

В роботі використано центральне композиційне рототабельне планування. Перевагою вказаного виду планування є забезпечення передбачення вихідної величини з похибкою, яка залежить лише від відстані точки факторного простору до центру експерименту, що дозволяє прогнозувати з однаковою точністю значення функції відклику.

Субстратами модельної системи для проведення основного експерименту було обрано соняшникову олію, яка є джерелом ненасичених жирних кислот, та середньоланцюгову каприлову кислоту ($C_{8:0}$), що виступала донором ацилів. Каталіз здійснювався за допомогою ліпази з *Rhizomucor miehei*, вибір якої було обумовлено результатами попередніх експериментів. Реакції проводили при постійному перемішуванні під шаром азоту без розчинника. Температура процесу варіювалася у межах 30-80 °C, вміст ферменту 1–20 % (від маси жирової суміші), мольне співвідношення кислота:жир 2:1–10:1, час реакції 1–24 год. Після закінчення процесу ензим відділяли від продукту шляхом фільтрації при температурі 50 °C. Реакції проведено у двох паралелях.

Ліпідний склад проб аналізувався методом високотемпературної газорідної хроматографії у відповідності із AOCs Official Method Cd 11b-91 [5]. Використовувався хроматограф Clarus 500 Gas Chromatography (Perkin-Elmer) з полум'яно-іонізаційним детектором (ПД). Колонка Restek Rtx-65TG, капілярна; її геометричні параметри: довжина 30 м, 0,25 мм внутрішній діаметр, 0,2 мкм товщина нерухомої фази. Стаціонарна фаза Crossbond 35 % диметил – 65 % діфенілполісилоксан. Температурна програма 80 °C (0 хв.), 10 °C/хв. до 320 °C (0 хв.), 5 °C/хв. до 360 °C (15 хв.) Температура інжектора – 320 °C, температура детектора – 370 °C. Газ-носії – гелій. Швидкість газу-носія 3 см³/хв. Спліт 1:50. витрата повітря для ПД – 450 см³/хв., витрата водню для ПД – 45 см³/хв. Обсяг проби, що вводився, – 0,5 мкл.

Матриця планування та отримані експериментальні дані щодо ступеня перетворення вихідних ТАГ представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Матриця планування

№	Температура реакції, t		Вміст ферменту, E		Мольне співвідношення ЖК:ТАГ, m		Час реакції, τ		СП (Y), %
	Значення		Значення		Значення		Значення		
	Код.	Реальне, °C	Код.	Реальне, %	Код.	Реальне	Код.	Реальне, год	
1	-1	70	-1	16,15	-1	8,38	-1	6,0	60,7
2	-1	70	-1	16,15	+1	3,60	-1	6,0	52,8
3	-1	70	+1	4,85	-1	8,38	1	20,0	59,9
4	-1	40	+1	16,15	+1	3,60	1	20,0	63,1
5	+1	70	-1	4,85	-1	3,60	1	20,0	56,6
6	+1	40	-1	4,85	+1	8,38	-1	6,0	43,5
7	+1	40	+1	16,15	-1	8,38	1	20,0	71,3
8	+1	40	+1	4,85	+1	3,60	-1	6,0	22,5
9	-1,682	30	0	10,5	0	6,00	0	12,5	53,3
10	+1,682	80	0	10,5	0	6,00	0	12,5	55,2
11	0	55	-1,682	1,00	0	6,00	0	12,5	37,4
12	0	55	+1,682	20,00	0	6,00	0	12,5	79,4
13	0	55	0	10,50	-1,682	2,00	0	12,5	51,4
14	0	55	0	10,50	+1,682	10,00	0	12,5	69,5
15	0	55	0	10,50	0	6,00	-1,682	1,0	42,7
16	0	55	0	10,50	0	6,00	1,682	24,0	76,1
17	0	55	0	10,50	0	6,00	0	12,5	68,9
18	0	55	0	10,50	0	6,00	0	12,5	68,8

Статистичний аналіз експериментальних даних було проведено за допомогою пакета Statistica 9 (StatSoft, Inc.).

В результаті було отримано рівняння моделі, що описує факторний простір залежності ступеня перетворення від температури, вмісту ферменту, мольного співвідношення субстратів та часу реакції:

$$Y = -102,539 + 2,289 \cdot t - 0,024 \cdot t^2 + 4,267 \cdot e - 0,102 \cdot e^2 + 13,682 \cdot m - 0,541 \cdot m^2 + 2,705 \cdot \tau - 0,071 \cdot \tau^2 + 0,021 \cdot t \cdot e - 0,051 \cdot t \cdot m + 0,037 \cdot t \cdot \tau - 0,047 \cdot e \cdot m - 0,067 \cdot e \cdot \tau - 0,132 \cdot m \cdot \tau \quad (2)$$

Для перевірки значущості коефіцієнтів регресії було побудовано діаграму Парето, яку представлено на рис. 1 (L – лінійний ефект, Q – квадратичний ефект).

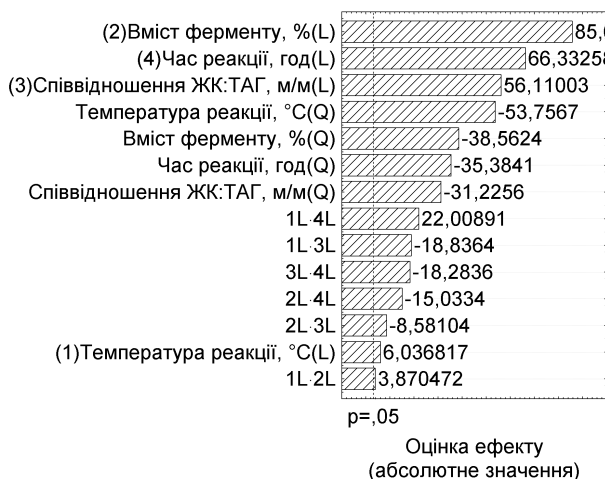


Рисунок 1 – Діаграма Парето

Таблиця 2 – Дисперсійний аналіз моделі

Фактор	Сума квадратів, SS	Ступінь свободи, df	Середнє значення квадрата, MS	F-критерій	Рівень значущості, p
(1) Температура реакції, °C (L)	4,160	1	4,1598	36,443	0,0075
Температура реакції, °C (Q)	329,855	1	329,8545	2889,780	0,0009
(2) Вміст ферменту, % (L)	838,215	1	838,2148	7343,408	0,0001
Вміст ферменту, % (Q)	169,740	1	169,7405	1487,058	0,0031
(3) Мольне співвідношення ЖК:ТАГ (L)	359,367	1	359,3675	3148,336	0,0006
Мольне співвідношення ЖК:ТАГ (Q)	111,296	1	111,2958	975,037	0,0039
(4) Час реакції, год (L)	502,240	1	502,2402	4400,011	0,0003
Час реакції, год (Q)	142,914	1	142,9139	1252,036	0,0025
1L · 2L	1,710	1	1,7100	14,981	0,0072
1L · 3L	40,500	1	40,5000	354,811	0,0058
1L · 4L	55,291	1	55,2911	484,392	0,0045
2L · 3L	8,405	1	8,4050	73,634	0,0078
2L · 4L	25,797	1	25,7972	226,003	0,0065
3L · 4L	38,158	1	38,1578	334,292	0,0051
Похибка	0,342	3	0,1141		
Загальна сума квадратів	3591,909	17			
Коефіцієнт кореляції R ² =0,9930					

На діаграмі Парето (рис. 1) представлені стандартизовані коефіцієнти, які відсортовано за абсолютним значенням. Згідно наведеним даним усі ефекти та їх взаємодії є значимими для даного процесу, а

лінійні ефекти вмісту ферменту, часу реакції та мольного співвідношення мають найбільший вплив на ступінь перетворення вихідних ТАГ у двозаміщені структуровані ліпіди в процесі ферментативного ацидлізу.

Аналіз моделі (2) дозволив встановити оптимальні параметри досліджуваного процесу, які забезпечують максимальний ступінь перетворення вихідних триацилгліцеринів у двозаміщені структуровані ліпіди, а саме: температура – 65 °С, вміст ферментного препарату Lipozyme RM IM – 17,4 %, мольне співвідношення жир:кислота – 1:6, час процесу – 21,8 години.

З метою дослідження основних закономірностей впливу предикторів на протікання процесу в цілому було побудовано поверхні відклику, які відображають залежність ступеня перетворення триацилгліцеринів у двозаміщені структуровані ліпіди від кожної пари параметрів при фіксованих в оптимумі значеннях інших двох (рис. 2–4).

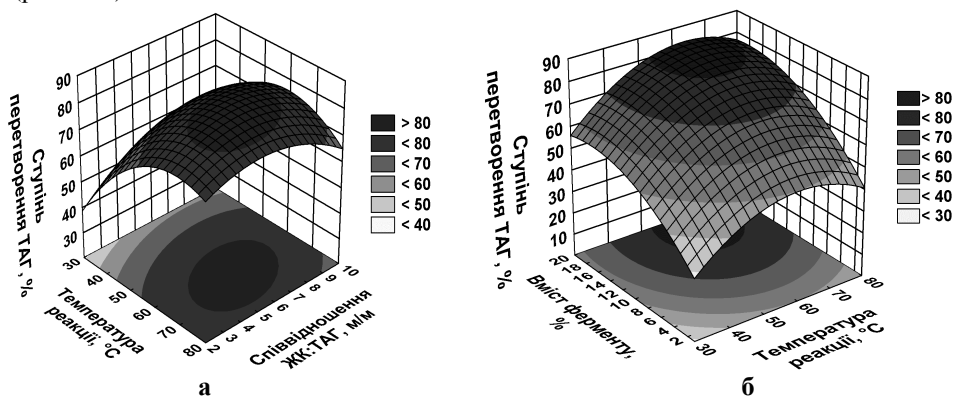


Рисунок 2 – Залежність ступеня перетворення триацилгліцеринів від:
а) температури реакції та мольного співвідношення ЖК:ТАГ; б) температури реакції та вмісту ферменту

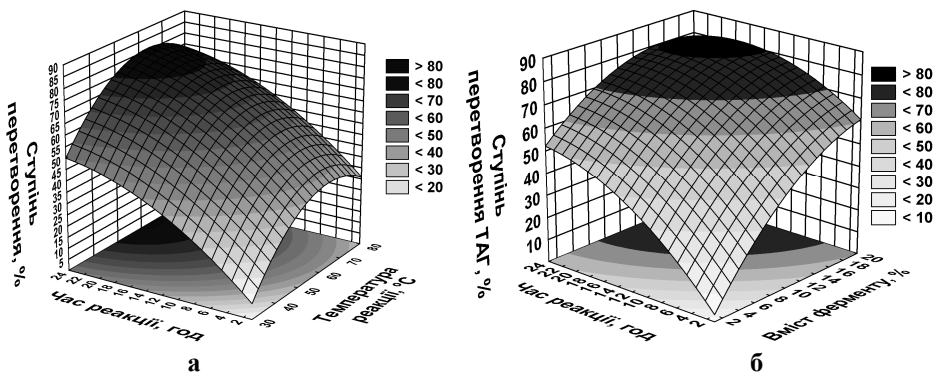


Рисунок 3 – Залежність ступеня перетворення триацилгліцеринів від:
а) часу реакції та температури реакції; б) часу реакції та вмісту ферменту

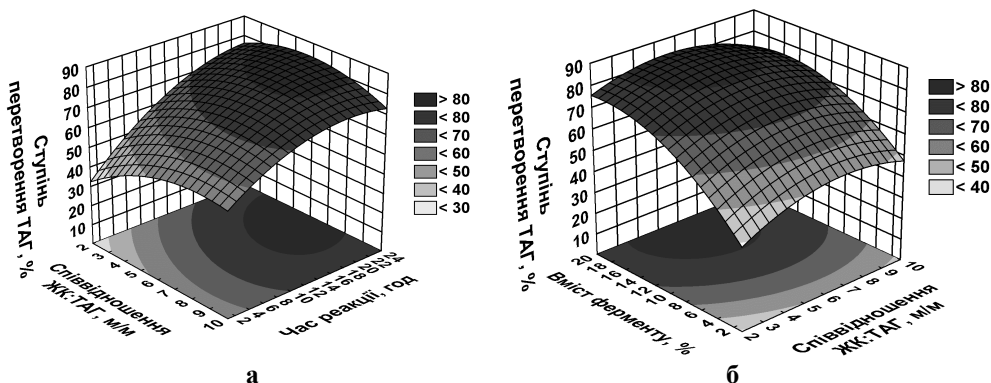


Рисунок 4 – Залежність ступеня перетворення триацилгліцеринів від:
а) мольного співвідношення ЖК:ТАГ та часу реакції; б) мольного співвідношення ЖК:ТАГ та вмісту ферменту

Згідно графічним даним, представленим на рис. 2а, 2б та 3б, ступінь перетворення триацилгліцеринів у двозаміщені структуровані ліпіди досягає максимального значення – 82,3 % при температурі 65 °С, яка є оптимальною для даного процесу. При подальшому збільшенні температури спостерігається зменшення вказаного показника за рахунок зниження активності ліпази, що пов'язано з її термолабільністю внаслідок зміни конформації та часткової денатурації. Слід відзначити, що вплив кількості ферменту є найбільш значимим параметром процесу (рис. 2б, 3б та 4б) і його оптимальна концентрація складає близько 17 %. Цей висновок узгоджується з даними, представленими на рисунку 1.

Аналіз поверхонь відклику, зображених на рис. 2а, 3а та 3б показує, що найбільший ступінь перетворення триацилгліцеринів спостерігається при мольному співвідношенні субстратів 6:1. Але при надлишку кислоти у системі відбувається зниження каталітичної активності ліпази, внаслідок її заокиснення, що призводить до зменшення виходу кінцевого продукту.

При збільшенні тривалості ацидолізу жирів ступінь перетворення триацилгліцеринів зростає (рис. 3а, 3б та 4а). Рівноважний стан у системі досягається за 21,8 години ведення процесу, після чого концентрація двозаміщених структурованих ліпідів практично не змінюється.

Висновки. Методами математичного моделювання щодо ферментативного ацидолізу жирів встановлено оптимальні параметри, які забезпечують максимальний вихід двозаміщених структурованих ліпідів. Досліджено внесок кожного з предикторів на перебіг процесу в цілому.

Література

1. Osborn H.T. Structured lipids – novel fats with medical, nutraceutical, and food applications / H.T. Osborn, C.C. Akoh // Food science and food safety. – 2002.–Vol. 1, № 3. – P. 110–120.
2. Camacho Paeza B. Production of structured triglycerides rich in n-3 polyunsaturated fatty acids by the acidolysis of cod liver oil and caprylic acid in a packed-bed reactor: equilibrium and kinetics / B. Camacho Paeza, A. Robles Medina, F. Camacho Rubio, P. Gonzalez Moreno E. Molina Grima // Chemical Engineering Science. –2002.–Vol. 57, № 8. –P. 1237–1249.
3. Ming-Lung Ch. Synthesis of the structured lipid 1,3-Dioleoyl-2-palmitoylglycerol from palm oil / Ch. Ming-Lung, V. Shaik Ramjan, L. Jih-Yao, J. Yi-Hsu // JAOCS.–2004.–Vol. 81, №6. – P. 525–532.
4. Hamam F. Lipase-assisted acidolysis of high-laurate canola oil with eicosapentaenoic acid // F. Hamam, J. Daun, F. Shahidi / JAOCS.–2005.–Vol. 82, №12. –P. 875–879.
5. 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.

Bibliography (transliterated)

1. Osborn H.T. Structured lipids – novel fats with medical, nutraceutical, and food applications H.T. Osborn, C.C. Akoh Food science and food safety. – 2002.–Vol. 1, # 3. – P. 110–120.
2. Camacho Paeza B. Production of structured triglycerides rich in n-3 polyunsaturated fatty acids by the acidolysis of cod liver oil and caprylic acid in a packed-bed reactor: equilibrium and kinetics B. Camacho Paeza, A. Robles Medina, F. Camacho Rubio, P. Gonzalez Moreno E. Molina Grima Chemical Engineering Science. –2002.–Vol. 57, # 8. –P. 1237–1249.
3. Ming-Lung Ch. Synthesis of the structured lipid 1,3-Dioleoyl-2-palmitoylglycerol from palm oil Ch. Ming-Lung, V. Shaik Ramjan, L. Jih-Yao, J. Yi-Hsu JAOCS.–2004.–Vol. 81, #6. – P. 525–532.
4. Hamam F. Lipase-assisted acidolysis of high-laurate canola oil with eicosapentaenoic acid F. Hamam, J. Daun, F. Shahidi JAOCS.–2005.–Vol. 82, #12. –P. 875–879.
5. 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.

УДК 665:664.3

Некрасов П.А., Подлесная Е.В.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТАТИВНОГО АЦИДОЛИЗА ЖИРОВ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с исследованием влияния таких параметров как температура, содержание фермента, мольное соотношение субстратов и время реакции на выход двозамещенных структурированных липидов в технологии ферментативного ацидолиза подсолнечного масла и каприловой кислоты. В результате экспериментов установлены оптимальные условия и получена математическая

модель, позволяющая прогнозировать выход двузамещенных структурированных липидов в зависимости от основных параметров процесса.

Nekrasov P.O., Podlisna O.V.

OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS IN ENZYMATIC ACIDOLYSIS OF FATS

The article deals with issues related to the investigation of the influence of such parameters as temperature, enzyme load, molar ratio of substrates and reaction time on yield of twice-substituted structured lipids in enzymatic acidolysis of sunflower oil and caprylic acid. Optimal conditions and mathematic model, that allow us to predict the yield of twice-substituted structured lipids depending on critical process conditions were obtained.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОЛУЧЕНИЯ ИНВЕРТНОГО СИРОПА

Актуальность работы. В настоящее время в пищевой промышленности получило широкое распространение производство сахарных и инвертных сиропов, что обусловлено большим ассортиментом кондитерских изделий и газированных напитков, где данные сиропы – необходимая и основная составляющая.

Производство кондитерских изделий складывается из двух основных стадий:

- приготовление кондитерских масс;
- изготовление из этих масс изделий нужной формы и размера.

При приготовлении кондитерских масс учитывается химический состав сырья и его изменения в процессе тепловой обработки, закономерности образования коллоидных систем, а также растворимость сахарозы в условиях кондитерского производства.

Производство большинства кондитерских масс начинается с растворения сахара и получения сиропа необходимой концентрации. Затем сироп при помощи разных способов переработки превращается в различные кондитерские массы. При хранении и транспортировке сиропов в них может происходить кристаллизация сахарозы. Так как с этими вопросами приходится встречаться при производстве почти всех масс, этому процессу уделяется особое внимание [1].

Сиропом называют концентрированный (свыше 40 %) раствор различных сахаров (сахарозы, глюкозы, мальтозы, фруктозы и др.) или их смеси в воде.

Сироп представляет собой прозрачную, вязкую, почти бесцветную жидкость. В зависимости от вида растворенного сахара сироп называют: сахарным (сахароза), инвертным (смесь равных количеств глюкозы и фруктозы), сахаро-паточным (сахароза и патока) и т. д.

В кондитерском производстве наибольшее применение имеют сахарные, инвертные, сахаро-паточные, сахаро-инвертные, сахаро-инвертно-паточные сиропы.

Сахарные сиропы получают растворением сахара в воде, обычно при нагревании. Инвертный сироп получают из сахарных сиропов путем инвертирования (гидролиза) сахарозы; при этом нагревают сахарный сироп в присутствии кислоты (как катализатора). При необходимости введенная кислота затем нейтрализуется.

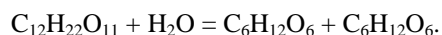
Сиропы должны быть прозрачны, не содержать взвешенных частиц, не иметь посторонних запахов и вкуса.

Концентрация применяемых в кондитерском производстве сиропов обычно выше 65 %. Высокая концентрация сахара оказывает консервирующее действие.

Инвертный сироп служит заменителем патоки, так как обладает антикристаллизационными свойствами и применяется в пищевой промышленности с целью предотвращения кристаллизации сахара, например, в производстве карамели, искусственного меда, варенья. В медицине инвертный сахар применяется как заменитель глюкозы, также инвертный сахар используется для производства многоатомных спиртов (сорбинита, манита) и заменителя глицерина – глицерогена. Получают инвертный сироп нагреванием водного раствора сахара с кислотой, при этом происходит процесс инверсии, заключающийся в расщеплении сахарозы на фруктозу и глюкозу. Для инверсии используются кислоты: соляная, лимонная, молочная, уксусная.

Готовят его в сироповарочных аппаратах. На практике инвертный сироп готовят концентрацией 65–75 % к массе [2].

Реакция гидролиза идет по следующему уравнению:



Цель работы. Разработать автоматическую систему управления процессом получения инвертного сиропа для получения высококачественного конечного продукта и поддержания оптимальных параметров технологического процесса.

В пищевой промышленности, в технологии производства кондитерских изделий, газированных фруктовых напитков, готовят сахарные и инвертные сиропы в сироповарочных реакторах с применением различных перемешивающих устройств.

Процесс получения инвертного сиропа включает следующие технологические операции:

- растворение сахара в воде при нагревании;
- проведение кислотного гидролиза;
- охлаждение и нейтрализация;
- фильтрация сиропа;
- хранение.

Типовой сироповарочный реактор (СР) представляет собой закрытый стальной резервуар цилиндрической формы со сферическим днищем. Изготавливают его из стали или чугуна и защищают от коррозии эмалью. Реактор снабжен паровой рубашкой с патрубками для подвода пара и отвода конденсата и мешалкой с верхним приводом, предназначенной для размешивания содержимого и интенсификации теплообменного процесса. В крышке реактора имеется люк с задвижкой для загрузки сахара из бункера, а также патрубок для залива воды и вытяжная труба для отвода водяных паров. Для спуска сиропа служит нижний патрубок [3].

Воду подают в реактор через патрубок и подогревают ее до 55-60 °С. Не прекращая нагревания, включают мешалку и загружают сахар, медленно растворяя его. После полного растворения сахара проводят кислотный гидролиз, добавляя соляную кислоту. Затем инвертный сироп охлаждают и нейтрализуют бикарбонатом натрия.

Для отделения от примесей инвертный сироп из реактора перекачивают насосом (НПП) на фильтрацию. Фильтрация сиропов производится в рамных фильтрах (Ф), в качестве фильтрующего материала используется фильтрующая ткань бельтинг или сукно.

Отфильтрованный сироп поступает в бункерах готового продукта (БГП). Сохраняют сироп в алюминиевых или эмалированных бункерах различных типов. Бункеры для сиропа одновременно выполняют роль напорных емкостей и мерников, поэтому они оборудованы измерительными стеклянными трубками. Емкость бункеров рассчитывается на двухсуточную потребность завода в сиропе.

Для поддержания оптимальных параметров технологического процесса и получения конечного продукта высокого качества, предусматривается его автоматическая система управления.

При построении автоматической системы необходимо руководствоваться следующей ее структурой: первичный измерительный преобразователь, промежуточный преобразователь (при необходимости), вторичный прибор, регулятор (регулирующий блок с датчиком), устройство оперативного управления (блок или панель управления), исполнительный механизм и регулируемый орган.

Конкретные типы средств автоматизации выбираются с учетом особенностей технологического процесса и его параметров. В первую очередь принимают во внимание такие факторы, как пожаро- и взрывоопасность, агрессивность и токсичность среды, число параметров, которые принимают участие в управлении и их химические свойства, дальность передачи сигналов информации и управления, необходимые точность и быстрдействие. Эти факторы определяют выбор методов измерения технологических параметров, необходимые функциональные возможности регуляторов и приборов (законы регуляции, показание, запись и т.д.), диапазоны измерения, классы точности, вид дистанционной передачи и т.д. [4].

Конкретные приборы и средства автоматизации подбираются по справочной литературе, исходя из следующих рассуждений:

- для контроля и регулирования одинаковых параметров технологического процесса необходимо применять однотипные средства автоматизации, которые выпускают серийно. При этом нужно отдавать предпочтение приборам и средствам отечественного производства;
- при большом количестве одинаковых параметров рекомендуется применять многоканальные приборы;
- при автоматизации сложных технологических процессов необходимо использовать вычислительные и управляющие машины (ПЛК, микроконтроллеры);
- класс точности приборов должен отвечать технологическим требованиям;
- для автоматизации технологических аппаратов с агрессивными или пищевыми средами необходимо предусматривать установку специальных приборов, а в случае применения приборов в нормальном выполнении их нужно защищать.

Так система управления процессом сироповарения обеспечивает:

- регулирование количества сахара в реакторе;
- регулирование количества воды в реакторе;
- регулирование количества раствора кислоты в реакторе;
- регулирование количества раствора соды в реакторе;
- регулирование температуры в реакторе;
- контроль уровней с сигнализацией верхнего и нижнего пределов уровня;
- контроль расхода пара;
- контроль количества готового продукта;

- контроль качества готового продукта;
- контроль перепада давления на фильтре;
- дистанционное управление электроприводами.

Функциональная схема автоматизации (рис.1) реализована с применением современного ОВЕН ПЛК-150.

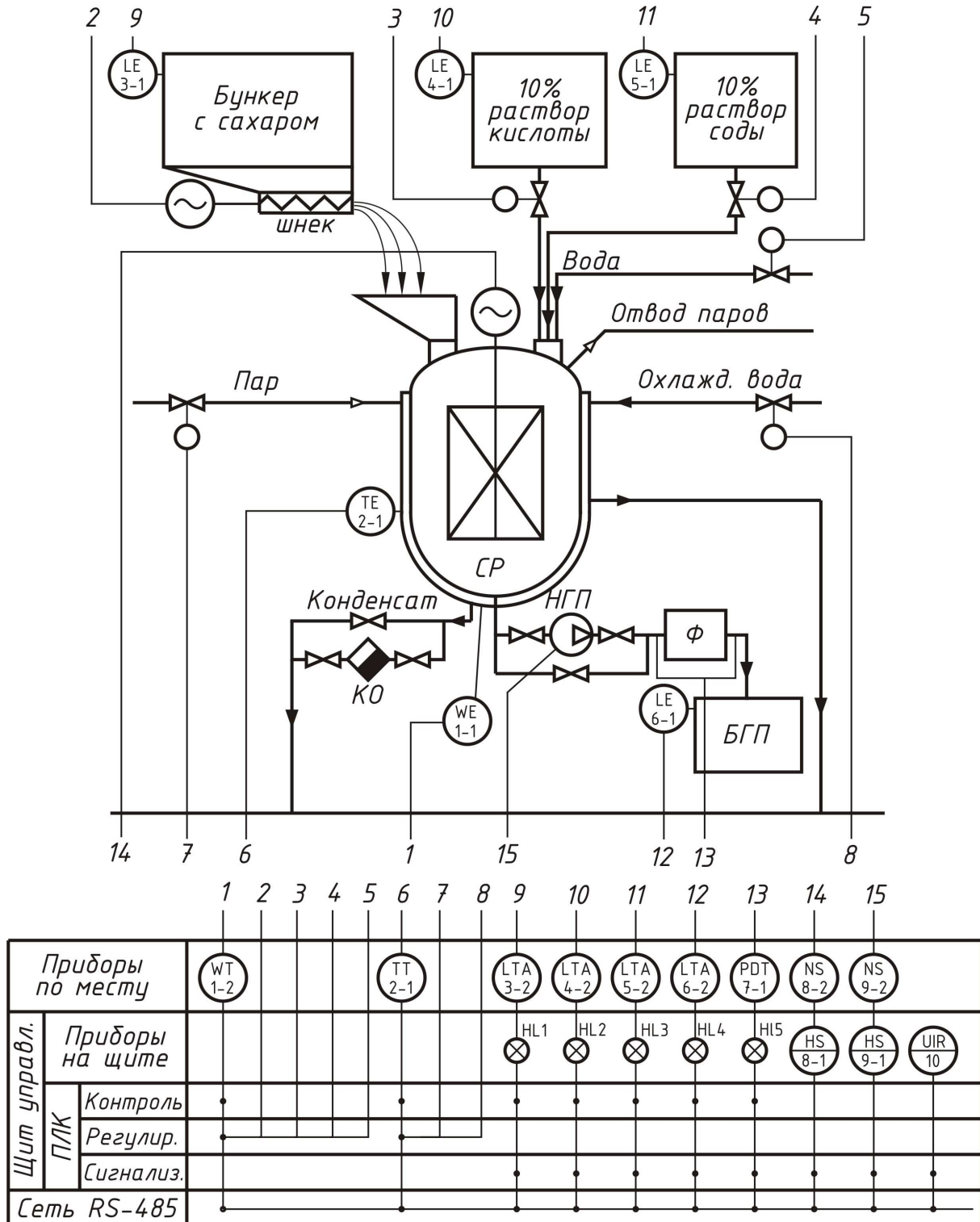


Рисунок 1 – Функциональная схема автоматизации

Так для измерения количества сахара, воды, раствора кислоты и соды используется весовой измеритель, который измеряет массу всего реактора с насыпаемыми в него компонентами. После засыпания компонентов по заранее определенной программе включается подогрев реактора, датчиком температуры является термометр сопротивления ТСМ (50М), а регулирующий орган установлен на линии подачи пара в рубашку реактора, аналогично работает контур регулирования охлаждением сиропа. После окончания приготовления сиропа включается насос по перекачке его через фильтр в сборник готового продукта, насос включается автоматически после окончания приготовления сиропа или вручную, с помощью кнопки управления КУ-220 и пускателя ПБР-3А, со щита управления. Уровень в бункерах контролируется с помощью акустического сигнализатора уровня АСУ. Перепад давления на фильтре контролируется с использованием дифференциального манометра Сапфир-22ДД.

Выводы. Описана технология получения инвертного сиропа. Для поддержания оптимальных параметров разработана автоматическая система управления процессом. Представлен перечень основных контуров контроля и регулирования. Приведена функциональная схема автоматизации.

Литература

- 1 Назаров Н.И. Технология и оборудование пищевых производств / Н.И. Назаров, А.П. Нечаев, В.И. Щербаков. - М.: Пищ. пром., 1977. – 352 с.
- 2 Общая технология пищевых производств (под ред. Ковальской Л.П.) М., Колос, 1993. – 384 с.
- 3 Кувшинский М.Н. Курсовое проектирование по предмету «Процессы и аппараты химической промышленности» / М. Н. Кувшинский, А. П. Соболева. – М. : Высшая школа, 1980. – 223 с.
- 4 Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації. Ч.2. Регульовальні і виконавчі пристрої: Навчальний посібник / А.К. Бабіченко, В.І Тошинський та ін – Харків: НТУ «ХПІ», 2003р. – 658 с.

Bibliography (transliterated)

- 1 Nazarov N.I. Tehnologija i oborudovanie pishhevyh proizvodstv N.I. Nazarov, A.P. Nechaev, V.I. Shherbakov. M.: Pishh. prom., 1977. – 352 p.
- 2 Obshhaja tehnologija pishhevyh proizvodstv (pod red. Koval'skoj L.P.) M., Kolos, 1993. – 384 p.
- 3 Kuvshinskij M.N. Kursovoe proektirovanie po predmetu «Processy i apparaty himicheskoy promyshlennosti» M. N. Kuvshinskij, A. P. Soboleva. – M. : Vysshaja shkola, 1980. – 223 p.
- 4 Babichenko A.K. Promislovi zasobi avtomatizacii. Ch.2. Reguljuval'ni i vikonavchi pristroi: Navchal'nij posibnik A.K. Babichenko, V.I Toshins'kij ta in – Harkiv: NTU «HPI», 2003r. – 658 p.

УДК 66.011: 614.143.1

Дзевочко О.М., Литвиненко Є.І.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ОДЕРЖАННЯ ІНВЕРТНОГО СИРОПУ

Розроблена автоматична система управління процесом одержання інвертного сиропа для підтримці оптимальних умов протікання технологічного процесу. Представлений перелік основних контурів контролю і регулювання. Приведена функціональна схема автоматизації процесу.

Dzevochko O.M., Lytvynenko Ye.I.

THE AUTOMATION CONTROL SYSTEM OF INVERT SURUP RESEIVING PROCESS

The automation control system of invert syrup reseiving process is developed to support optimal process conditions. The item of main control circuits is presented. The flowsheet of functional process scheme is presented tour.

ОПТИМИЗАЦИЯ И АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРВИЧНОЙ КОНДЕНСАЦИИ АГРЕГАТОВ СИНТЕЗА АММИАКА

Одним из базовых для азотной промышленности Украины являются крупнотоннажные агрегаты синтеза аммиака серии АМ-1360, в которых в отделении синтеза для извлечения продукционного аммиака принята двухступенчатая схема конденсации. На первой стадии конденсация аммиака осуществляется в аппаратах воздушного охлаждения, а на второй – в двух аммиачных низкотемпературных испарителях с охлаждением циркуляционного газа до температуры не более 0 °С. Один из этих испарителей включен в схему работы двух абсорбционно-холодильных установок (АХУ), а второй – в схему аммиачного турбокомпрессорного холодильного агрегата (АТК). Использование АТК связано со значительным потреблением электроэнергии до 4,8 тыс. кВт·ч по проекту, а применение воздушного охлаждения для первичной конденсации вызывает сезонные и суточные колебания температуры первичной конденсации от 22 до 40 °С. Увеличение этой температуры в весенне-летний период приводит к увеличению концентрации аммиака в циркуляционном газе и повышению тепловой нагрузки на центробежный трехкорпусный компрессор (ЦТК) сжатия циркуляционного газа и свежей азотоводородной смеси с приводом от паровой турбины. При этом увеличивается расход природного газа и глубокообессоленной воды во вспомогательный паровой котел получения дополнительного пара давлением 10,5 МПа, необходимого для привода паровой турбины. Как установлено ранее проведенными исследованиями повышение температуры первичной конденсации на 1 °С в диапазоне от 30 до 40 °С приводит к увеличению потребляемой мощности на валу турбины на 69 кВт·ч, а расхода природного газа и глубокообессоленной воды соответственно на 54 м³/ч и 0,8 т/ч [1]. При эксплуатации агрегата в условиях повышенной температуры атмосферного воздуха в среднем около 3 тыс. ч (4–5 месяцев) снижение температуры первичной конденсации только на 1 °С при стоимости природного газа 1780 грн/тыс. м³ позволит снизить затраты в агрегате на 288 тыс. грн за год.

Таким образом, повышение энергоэффективности агрегата при такой схеме конденсации может быть достигнуто за счет снижения температуры первичной конденсации, что требует дополнительных энергозатрат в весенне-летний период для охлаждения циркуляционного газа. Однако, с одной стороны снижение температуры первичной конденсации обеспечивает снижение энергозатрат на привод турбины и блок вторичной конденсации в АТК, а с другой – требует увеличения энергозатрат на дополнительное охлаждение циркуляционного газа в блоке первичной конденсации, что безусловно свидетельствует о наличии оптимальной температуры первичной конденсации, обеспечивающей минимальную тепловую нагрузку. С целью определения оптимальной величины температуры первичной конденсации и целесообразности (экономичности) дополнительного охлаждения для исключения АТК из схемы работы отделения синтеза и были проведены дальнейшие исследования.

Исследования проводились методом математического моделирования с использованием математического описания отделения синтеза, в котором зависимости по таким параметрам как концентрации аммиака на выходе колонны синтеза, блоков первичной и вторичной конденсации, давления на входе колонны синтеза и на выходе блока первичной конденсации были получены по данным промышленной эксплуатации. Полученные зависимости дополнялись уравнениями материального баланса отделения синтеза, формулами для расчета производительности по аммиаку, мощности сжатия циркуляционного газа и свежей азотоводородной смеси, мощности на валу турбины, а также уравнениями по определению растворимости газов в жидком аммиаке и количества теплоты отданной циркуляционным газом при охлаждении [1–3].

Расчеты осуществлялись при следующих ограничениях, характерных для промышленных условий: средняя температура синтеза – 465 °С, соотношение Н₂:N₂ в газе на входе колонны синтеза – 3, содержание инертных в свежей азотоводородной смеси – 0,8 % об., температура вторичной конденсации – 0 °С, температура первичной конденсации – 25–40 °С, потеря давления в колонне синтеза – 0,85 МПа, перепад давления на циркуляционной ступени ЦТК – 1,5 МПа, температура циркуляционного газа на входе в аппараты воздушного охлаждения блока первичной конденсации – 55 °С, производительность колонны синтеза – 55,625 т/ч. Величина содержания инертных в газе на входе колонны синтеза была принята на оптимальном уровне 13,5 % об, при которой согласно проведенных предварительных исследований и представленных на рис. 1 в виде обобщающей кривой затрат обеспечивается минимальное энергопотребление С₀ (грн/ч) природного газа на сжигание в печи первичного риформинга и вспомогательном

паровом котле, а также на производство свежей азотоводородной смеси и потребление электроэнергии в блоках первичной и вторичной конденсации.

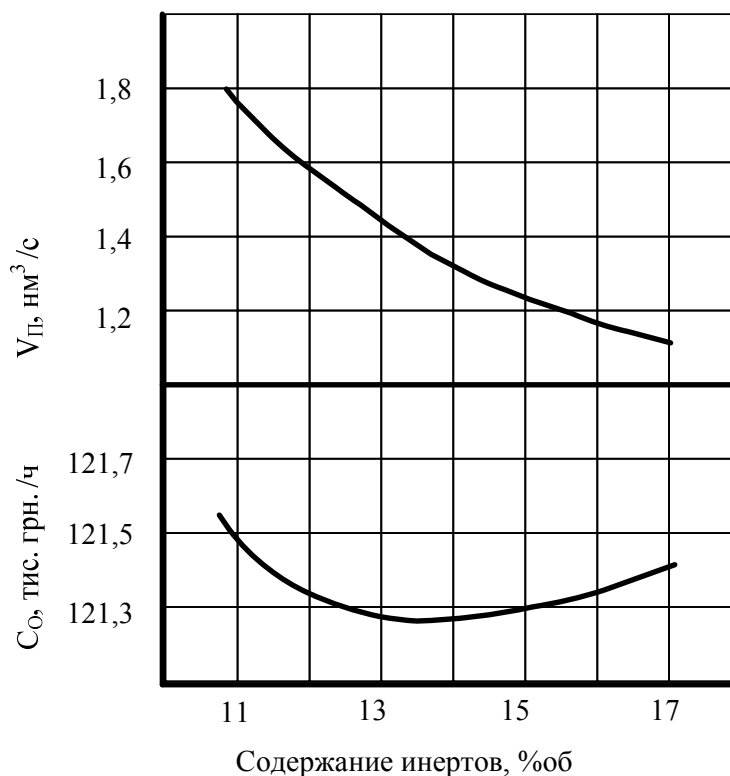


Рисунок 1 – Обобщающая кривая энергозатрат в зависимости от содержания инертных в газе, идущем на синтез

Наличие оптимальной величины содержания инертных обусловлено тем, что она определяется в основном расходом продувочных газов $V_{П}$. В свою очередь увеличение расхода продувочных газов с одной стороны приводит к увеличению затрат природного газа на производство и сжатие в ЦТК свежей азотоводородной смеси, а с другой стороны – к снижению затрат природного газа на сжатие циркуляционного газа и сжигания в печи первичного риформинга, а также расхода электроэнергии в блоках первичной и вторичной конденсации.

Итоговые результаты расчетов потребной холодильной мощности $Q_{ПК}$ для дополнительной холодильной системы блока первичной конденсации и потребляемой мощности, затрачиваемой с водяным паром на привод турбины N_T и холодильных систем $Q_{ВК}$ блока вторичной конденсации для обеспечения регламентной температуры вторичной конденсации на уровне $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в условиях изменения температуры первичной конденсации от 25 до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ представлены на рис. 2.

Представленные на рис. 2 зависимости свидетельствуют, что минимальная потребляемая тепловая мощность конденсационных систем и паровой турбины соответствует температуре первичной конденсации $t_{ПК} = 32,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, которая увеличивается с $53,4\text{ МВт}\cdot\text{ч}$ до $54,2\text{ МВт}\cdot\text{ч}$ с уменьшением температуры вторичной конденсации $t_{ВК}$ с $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, в основном, за счет необходимости повышения холодильной мощности холодильных систем блока вторичной $Q_{ВК}$ в среднем на $1\text{ МВт}\cdot\text{ч}$. При этом, снижение потребляемой мощности паровой турбины N_T незначительное в сравнении с $Q_{ВК}$ и составляет около $160\text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Однако, при температуре $t_{ПК} = 32,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ общая нагрузка на холодильные системы блока вторичной конденсации довольно значительна и составляет почти $9\text{ МВт}\cdot\text{ч}$, что при проектной холодопроизводительности $6,28\text{ МВт}\cdot\text{ч}$ двух АХУ делает невозможной задачу отключения АТК. Кроме того, неосуществима и задача снижения температуры $t_{ПК}$ даже до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в условиях повышенной температуры атмосферного воздуха в весенне-летний период более чем $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ для существующего аппаратного оформления блока первичной конденсации с применением только аппаратов воздушного охлаждения. Поэтому требуется, прежде всего, выбор дополнительного холодильного цикла для искусственного охлаждения.

Анализ литературы [4,5] и технологического оформления агрегата синтеза свидетельствуют о целесообразности применения теплоиспользующих парожеткорных аммиачных холодильных установок

(ПХУ), обеспечение которых рабочим аммиачным паром может быть осуществлено за счет утилизации низкопотенциальной теплоты отработанного водяного пара турбины компрессора технологического воздуха отделения парообразования с температурой до 90 °С, давлением 0,04 МПа и расходом 54,5 т/ч. Общее количество утилизационной теплоты отработанного водяного пара в парогенераторе с вышеуказанными параметрами при температуре конденсации 76 °С и теплоте конденсации 2312,8 кДж/кг [6] составит 35,7 МВт (30,7 Гкал/ч), которая в настоящее время безвозвратно теряется в аппаратах воздушного охлаждения с электроприводом от трех вентиляторов мощностью 972 кВт·ч. Такая утилизация обеспечивает возможность получения рабочего аммиачного пара для эжектирования с давлением свыше 3 МПа и температурой 65 °С при теплоте парообразования 963,7 кДж/кг [6] в количестве 127 т/ч. При этом средняя разность температур в парогенераторе будет составлять 11 °С, что обеспечит достаточно эффективный теплообмен с высоким коэффициентом теплопередачи.

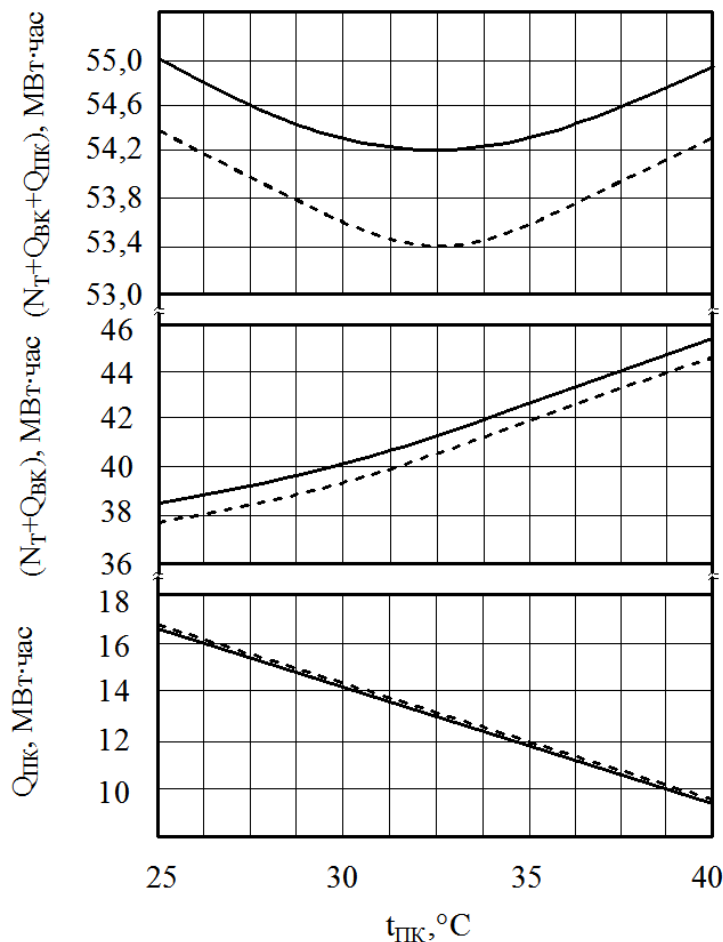


Рисунок 2 – Зависимости холодопроизводительностей холодильных систем блоков первичной $Q_{\text{ПХ}}$, вторичной конденсации $Q_{\text{ВК}}$ и потребляемой мощности паровой турбины N_T от температуры первичной конденсации: — $t_{\text{ВК}} = 0^\circ\text{C}$, - - - $t_{\text{ВК}} = 5^\circ\text{C}$

Расчет цикла ПХУ осуществлялся для обеспечения температур первичной конденсации в диапазоне 25–35 °С соответственно для различных температур кипения холодоагента в дополнительно установленном после аппаратов воздушного охлаждения блока первичной конденсации высокотемпературном испарителе в диапазоне 19–29 °С. При этом величина достигаемого коэффициента инжекции эжектора определялась по достаточно хорошо апробированному в практических условиях алгоритму [7]. Давление конденсации принималось на уровне 1,6 МПа, что даже в летний период обеспечит высокую температуру конденсации 40 °С аммиачного пара после эжектора. Отдельные результаты расчетов потребной холодопроизводительности $Q_{\text{ПХУ}}$ при соответствующей нагрузке циркуляционного газа на блок первичной конденсации $V_{\text{С}}^{\text{ВЫХ}}$, коэффициента инжекции U , расходов инжектируемого хладагента $M_{\text{Н}}$, рабочего пара $M_{\text{ПР}}$ и отработанного водяного пара $M_{\text{ВП}}$, а также необходимого потребления тепловой мощности парогенератора и достигаемого теплового коэффициента ПХУ представлены на рис. 3.

Зависимости, представленные на рис. 3 позволили определить и эксплуатационные затраты электроэнергии $S_{ПХУ}$ для конденсации рабочего пара и хладагента после эжектора при обеспечении требуемой холодопроизводительности в диапазоне температур первичной конденсации 25–35 °С, а с учетом эксплуатационных затрат природного газа и глубокообессоленной воды $S_{ПВГ}$ во вспомогательный паровой котел для получения водяного пара для ЦТК и электроэнергии $S_{АТК}$ в АТК установить оптимальную температуру первичной конденсации $t_{ПК}$, наличие которой подтверждается рис. 2.

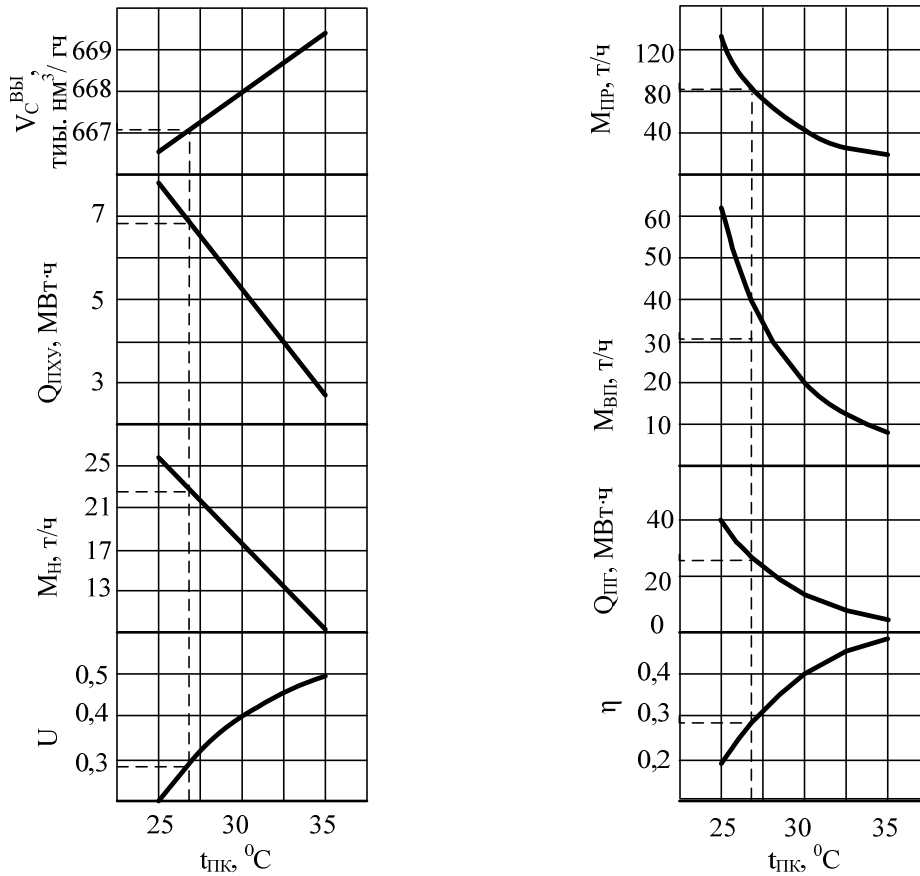


Рисунок 3 – Зависимости основных показателей работы ПХУ в составе блока первичной конденсации от температуры первичной конденсации $t_{ПК}$

При этом расход электроэнергии на привод вентиляторов конденсаторов воздушного охлаждения определялся по показателям этих аппаратов в составе АХУ, обеспечивающих конденсацию 12 т/ч аммиачного пара при расходе электроэнергии 200 кВт·ч. Стоимость электроэнергии природного газа и глубокообессоленной воды принималась на уровне цен 2009 г.

Полученные и представленные на рис. 4 зависимости эксплуатационных затрат свидетельствуют, что оптимальная величина $t_{ПК}$ при таком аппаратурно-технологическом оформлении процесса первичной конденсации соответствует температуре 27 °С. Как следует из рис. 4 на уровне температуры $t_{ПК} = 27$ °С обеспечиваются минимальные эксплуатационные затраты S_0 , которые не превышают (без учета расхода электроэнергии в воздушных конденсаторах блока первичной конденсации) 3600 грн/ч за счет снижения нагрузки с циркуляционным газом на ЦТК, а следовательно и затрат природного газа и глубокообессоленной воды $S_{ДК}$ во вспомогательный паровой котел до уровня 2600 грн/ч.

Снижение температуры $t_{ПК}$ до 27 °С приводит к снижению температуры и на входе блока вторичной конденсации до 35,5 °С, при которой и становится возможным исключение АТК из схемы работы агрегата синтеза при обеспечении проектной холодопроизводительности двумя АХУ на уровне 6,28 МВт·ч.

Достоверность проведенных тепловых расчетов была подтверждена внедрением способа резервирования АТК на промышленном агрегате синтеза ЧАО «Северодонецкое объединение АЗОТ» в условиях снижения температуры циркуляционного газа на входе конденсационной колонны до величины 35,5 °С при температуре атмосферного воздуха менее 5 °С [8], что позволило снизить расход электроэнергии на 8,6 млн. кВт·ч (19,4 кВт·ч/тNH₃). Этим и объясняется резкий скачок для кривой $S_{АТК}$ при температуре

$t_{ПК} = 27,5 \text{ }^\circ\text{C}$, а, следовательно, и температуры циркуляционного газа на входе блока вторичной конденсации на уровне $36 \text{ }^\circ\text{C}$. Кроме того, представленная зависимость для C_0 и $C_{АТК}$ подчеркивает и недостаток способа регулирования производительности АТК, который возможен лишь в диапазоне 50–100 %. Пунктирная линия для этих зависимостей позволяет количественно определить перерасход электроэнергии при таком способе регулирования в диапазоне изменения $t_{ПК} = 27,5 \text{ }^\circ\text{C} - 32,5 \text{ }^\circ\text{C}$, при котором температура циркуляционного газа на входе блока вторичной конденсации будет изменяться в пределах $36 - 41 \text{ }^\circ\text{C}$. Полученная оптимальная температура $t_{ПК}$ определяет и режим работы ПХУ (пунктирная линия на рис. 3). В соответствии с рис. 4 снижение температуры $t_{ПК}$ с 35 до $27 \text{ }^\circ\text{C}$ обеспечит при среднегодовой работе агрегата 4320 ч (6 месяцев) в условиях повышенной температуры атмосферного воздуха экономический эффект свыше 6 млн. грн.

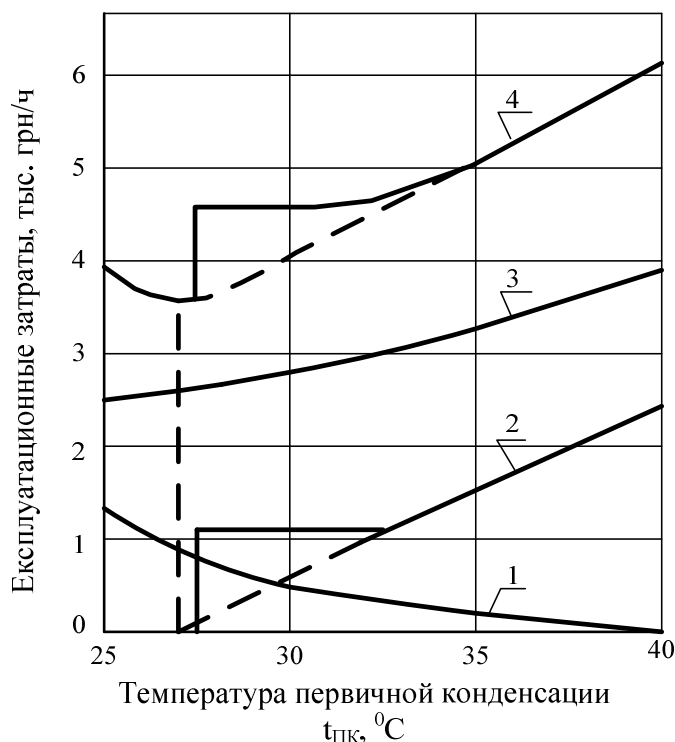


Рисунок 4 – Зависимости эксплуатационных затрат конденсационных систем агрегата синтеза аммиака от температуры первичной конденсации при $t_{ВК} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$: 1 – затраты электроэнергии в ПХУ, $C_{ПХУ}$; 2 – затраты электроэнергии в АТК, $C_{АТК}$; 3 – затраты природного газа и глубокообессоленной воды во вспомогательном паровом котле, $C_{ДК}$; 4 – общие затраты, C_0

Таким образом, синтезированное аппаратно-технологическое оформление блока первичной конденсации позволяет полностью исключить из схемы агрегата синтеза аммиачный турбокомпрессорный холодильный агрегат, снизить температуру первичной конденсации до оптимальной величины $27 \text{ }^\circ\text{C}$, а следовательно и нагрузку на центробежный трехкорпусный компрессор отделения синтеза, что позволяет при производительности агрегата $55,625 \text{ т/ч}$ уменьшить потребление электроэнергии в среднем на $32 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т NH}_3$, а природного газа на $2,67 \text{ м}^3/\text{т NH}_3$.

Литература

1. Бабіченко А.К. Вплив температури первинної конденсації на ефективність експлуатації великотонажних агрегатів синтезу аміаку / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 3/4 (33). – С. 23–27.
2. Кузнецов Л.Д. Синтез аммиака / Л.Д. Кузнецов, А.М. Дмитренко, П.Д. Рабина и др.; под. ред. Л.Д. Кузнецова. – М.:Химия, 1982. – 296 с.
3. Ефимов В.Т. Повышение эффективности работы абсорбционных холодильных установок в агрегатах синтеза аммиака большой мощности / В.Т. Ефимов, С.А. Ерощенко, А.К. Бабиченко // Холодильная техника. – 1979. – № 2. – С. 23–26.

4. Холодильные машины: Учебн. для ВУЗов по специальности «Холодильные машины и установки» / Н.Н. Кошкин, И.А. Сакун, Е.М. Бамбушек и др. ; Под общ. ред. И.А. Сакуна. – Л.: Машиностроение, 1985. – 510 с.
5. Установка для виробництва аміаку. Патент № 34437. Україна. МПК (2006) F25B 15/2, F25B 49/00, C01 C1/00 / Бабіченко А.К., Тошинський В.І. – № 200803380; Заявл. 13.03.2008; Опубл. 11.08.2008, Бюл. №15.
6. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
7. Соколов Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 350 с.
8. А.с. № 1002756 СССР, МКИ F25B 15/04, F25B 49/00, C01 C1/04. Способ регулирования производительности агрегата синтеза аммиака / А.К. Бабиченко, С.А. Ерощенко, В.Т. Ефимов и др. (СССР). – № 3355767/23-06; Заявл. 04.11.81; Опубл. 07.03.83, Бюл. №9. – 4 с.

Bibliography (transliterated)

1. Babichenko A.K. Vpliv temperaturi pervinnoi kondensacii na effektivnist' ekspluatatsii velikota-nozhnih agregativ sintezu amiaku A.K. Babichenko, V.I. Toshinsk'ij Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2008. – # 3 4 (33). – p. 23–27.
2. Kuznecov L.D. Sintez ammiaka L.D. Kuznecov, A.M. Dmitrenko, P.D. Rabina i dr.; pod. red. L.D. Kuznecova. – М.:Химия, 1982. – 296 p.
3. Efimov V.T. Povyshenie jeffektivnosti raboty absorbcionnyh holodil'nyh ustanovok v agregatah sinteza ammiaka bol'shoj moshnosti V.T. Efimov, S.A. Eroshhenko, A.K. Babichenko Holodil'naja tehnika. – 1979. – # 2. – p 23–26.
4. Holodil'nye mashiny: Uchebn. dlja VUZov po special'nosti «Holodil'nye mashiny i ustanovki» N.N. Koshkin, I.A. Sakun, E.M. Bambushek i dr. ; Pod obshh. red. I.A. Sakuna. – L.: Mashinostroenie, 1985. – 510 p.
5. Ustanovka dlja virobництва amiaku. Patent # 34437. Ukraina. MPK (2006) F25V 15 2, F25B 49 00, S01 S1 00 Babichenko A.K., Toshins'kij V.I. – # 200803380; Zajavl. 13.03.2008; Opubl. 11.08.2008, Bjul. #15.
6. Vargaftik N.B. Spravochnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zhidkostej. – М.: Nauka, 1972. – 720 p.
7. Sokolov E.Ja. Strujnye apparaty E.Ja. Sokolov, N.M. Zinger. – М.: Jenergoatomizdat, 1989. – 350 p.
8. A.s. # 1002756 SSSR, MKI F25B 15 04, F25B 49 00, S01 S1 04. Sposob regulirovanija proizvodi-tel'nosti agregata sinteza ammiaka A.K. Babichenko, S.A. Eroshhenkov, V.T. Efimov i dr. (SSSR). – # 3355767 23-06; Zajavl. 04.11.81; Opubl. 07.03.83, Bjul. #9. – 4 p.

УДК 661.53:66.048.8

Бабіченко А.К., Тошинський В.І.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТА АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОФОРМЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРВИННОЇ КОНДЕНСАЦІЇ АГРЕГАТИВ СИНТЕЗУ АМІАКУ

За результатами досліджень шляхом математичного моделювання відділення синтезу аміаку встановлена наявність оптимальної величини температури первинної конденсації. Синтезоване апаратурно-технологічне оформлення додаткової холодильної системи для забезпечення цієї температури. Достовірність проведених досліджень підтверджена частковим впровадженням, що забезпечило зниження витратної норми споживання електроенергії на 19,4 кВт·год/т NH₃.

Babichenko A.K., Toshinskiy V.I.

THE OPTIMIZATION AND THE APPARATUS AND TECHNOLOGICAL DESIGN OF THE PRIMARY CONDENSATION PROCESS OF SYNTHESIS AMMONIA AGGREGATES

As a result of researches by the mathematical design of ammonia synthesis sector the presence of the temperature optimum of the primary condensation was obtained. Apparatus and technological design of the additional refrigeration system was synthesized for providing of this temperature. Conducted researches were confirmed by

partial introduction, that made it possible to decrease consumption expense norm of electric power on 19,4 kW per hour for a tone of ammonia.

АНАЛИЗ ПРИОРИТЕТОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ ТАНКОСТРОЕНИЯ

Современное состояние бронетехники в мире характеризуется тремя основными особенностями:

1. Практически полное прекращение серийного производства танков в ведущих странах мира, наряду с большими объемами продаж новой и бывшей в употреблении бронетехники третьим странам, сокращение собственных танковых парков и акцентом НИОКР на модернизацию и продление эксплуатации ранее разработанных образцов на 30–35 лет.

2. Непрерывающимися НИОКР по разработке и созданию танка четвертого поколения в условиях пока не полного представления спектра задач и требований к нему, но с обязательной интеграцией в боевую систему вооруженных сил типа Future Combat System.

3. Резко возросшим интересом, и соответственно и спросом на мировом рынке, к колесной бронетехнике легкой категории, как наиболее доступной по цене и эксплуатационным затратам, но имеющей сравнительно мощное и разнообразное (модульное) вооружение и универсальное применение.

Характерной чертой современного этапа состояния вооружения является одновременное нахождение в войсках как ранее выпускавшихся образцов, так и новых. Такая ситуация не уникальна для ВС Украины и обусловлена следующими обстоятельствами:

- ограниченными ресурсами, выделяемыми на оборону вообще и на БТТ в частности;
- отсутствием физической возможности единовременной замены ранее выпускавшихся образцов на новые;
- системной интеграцией образца в общую систему вооружений, вида ВС или войск;
- необходимостью обучения л/с работе на новом образце;
- освоением эксплуатации, развертывания соответствующей ремонтной базы, накоплением ЗиП и ремкомплектов.

В свою очередь это приводит к непрерывному перераспределению номенклатуры образцов одного вида техники, находящихся в войсках При условии поддержания постоянного числа объектов ВВТ данного класса в войсках качественно процесс вывода устаревших и ввода новых образцов техники может быть представлен в виде графика на рис. 1.

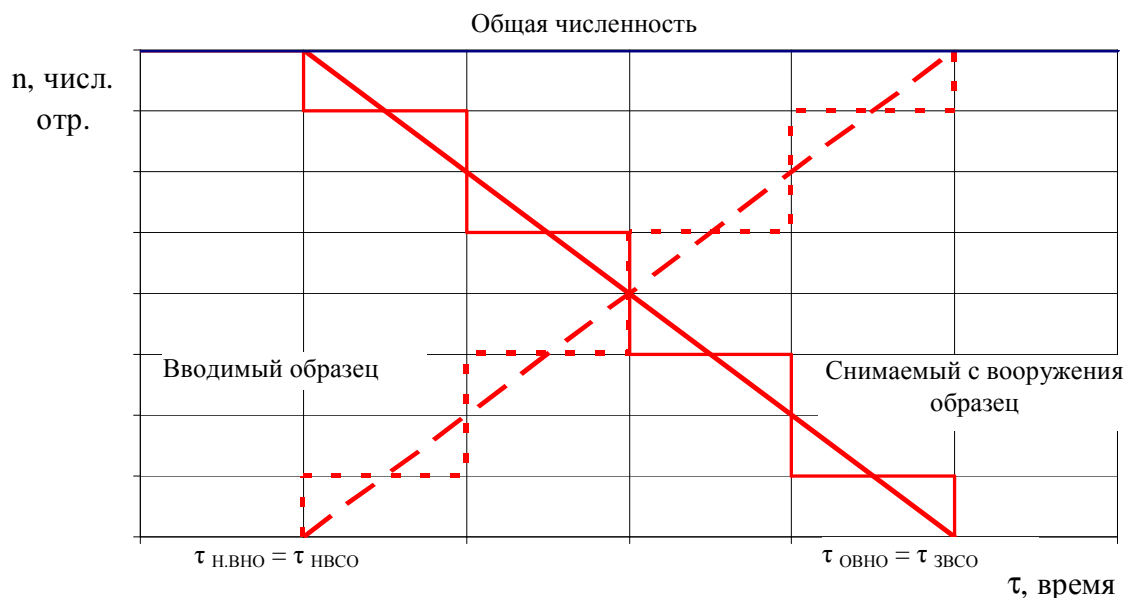


Рисунок 1 – График общей численности (—), количества снимаемых с вооружения образцов (—) и вводимого образца (- -) от времени

При осуществлении переоснащения время начала вывода снимаемого с вооружения образца должно совпадать с моментом начала поступления в войска нового образца ($\tau_{\text{НВНО}} = \tau_{\text{НВСО}}$), и момент окончания

процесса вывода устаревшего образца совпадает с временем окончания насыщения войск новыми образцами. Как правило, ОБВТ выводятся и вводятся в войсковую эксплуатацию партиями.

Поэтому прямые ввода и вывода техники на рис. 1 идеальные. Ближе к реальной ситуации ступенчатый график, причем несоответствие времени вывода партий устаревших образцов и ввода новых приводит к небольшим колебаниям и общей численности ОБВТ рассматриваемого типа.

Темпы повышения основных боевых и технических показателей образцов вооружения, военной и специальной техники постоянно растут, однако рост затрат на всех этапах жизненного цикла, при этом, опережает рост эффективности. В этой связи возрастает роль планирования, особенно по показателю своевременности проводимых мероприятий.

Основной проблемой на этом этапе следует считать обеспечение эффективного управления номенклатурой и техническим уровнем существующих и планируемых к разработке образцов ВВСТ, их составных частей, комплектующих изделий и материалов.

Решение задачи создания и развития ВВСТ может быть реализовано при программно-целевом планировании (ПЦП), когда обеспечивается целевой характер, комплексность, сбалансированность, долгосрочность, непрерывность, сквозное планирование образцов.

Министерство обороны разрабатывает Государственную программу развития вооруженных сил, а в ее рамках целевую программу развития ВВСТ на некий период. После ее утверждения, либо одновременно с этим, создается и утверждается программа развития оборонных отраслей, в том числе бронетанковой. В этих двух программах бронетанковая техника (БТТ) представлена как отдельный вид вооружения. Ее структура представлена на рис. 2. Отметим, что бронетанковая техника объединяет все типы ее образцов, в том числе гусеничные и колесные боевые бронированные машины (танки, БМП, БТР, БРМ и др.), бронепоезда, мотоциклы, подвижные танкоремонтные заводы и пр.

Сущность решения задачи планирования сводится к созданию такой совокупности образцов БТТ, которая по общему количеству изделий, а также по соотношению отдельных типов и образцов вооружения в пределах выделяемых ресурсов обеспечивает максимально возможный боевой потенциал.

Ранее целевые программы развития ВВСТ разрабатывались на 10–15 лет и далее пересматривались, продлевались и корректировались каждые 5 лет. Благодаря этому обеспечивалось сочетание долгосрочности с ее непрерывностью. В настоящее время в Украине такая практика применяется не в полной мере, поэтому реализация программно-целевого планирования становится еще более актуальной.

Рассмотрим эволюцию БТТ как вида вооружения более подробно. Развитие бронетанковой техники как вида вооружения, а также каждого из типов машин осуществляется путем перехода от одного образца к другому, более совершенному. Выбор правильного определения оптимальных сроков обновления образцов является важной задачей в системе управления развитием техники.

Виды ВВСТ Сухопутных войск

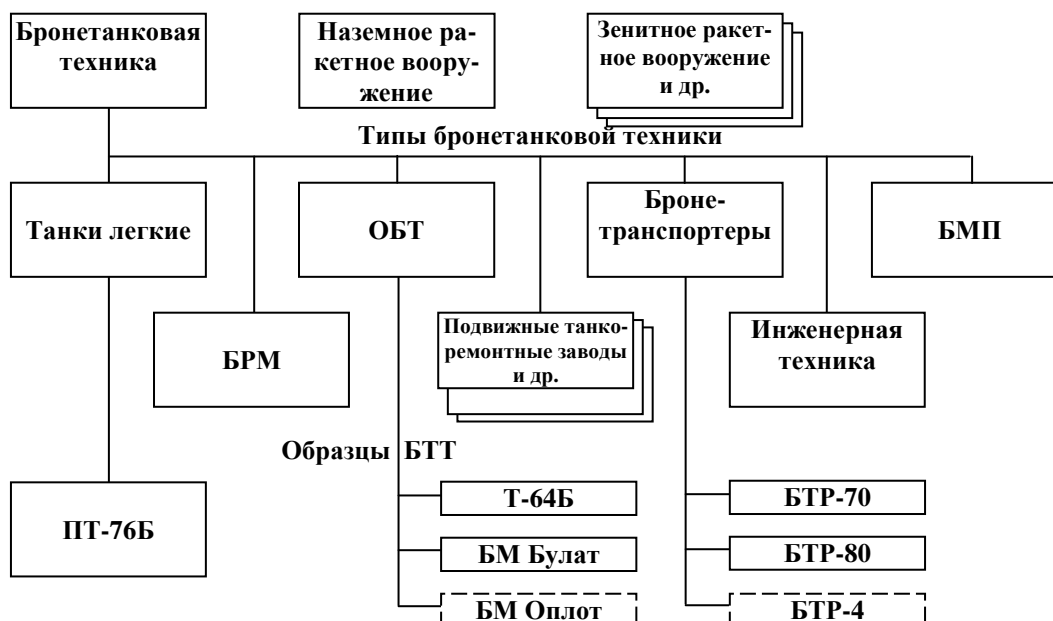


Рисунок 2 – Структура бронетанковой техники

Развитие БТТ в условиях взаимодействия различных типов и видов вооружения и конкурентной борьбы с аналогичными и противоборствующими средствами противника предполагает непрерывное совершенствование всей совокупности изделий данного вида (бронетанковой техники). Парк БТТ должен непрерывно обновляться, чтобы суммарный потенциал боевой эффективности соответствовал заданным значениям. Без этого процесса этот показатель будет непрерывно снижаться из-за морального старения и физического износа.

Под обновлением парка БТТ понимается замена машин, находящихся в войсках и подлежащих списанию вследствие их физического и/или морального износа. Обновление парка представляет собой непрерывный процесс, связанный с обновлением образцов, а также созданием и принятием на вооружение образца нового типа.

В свою очередь обновлением образцов БТТ называется создание образцов машин того же функционального назначения, но с более совершенными характеристиками. Обновление образцов осуществляется в результате либо модернизации, либо смены поколений.

Модернизация – это внесение в серийный образец, находящийся на вооружении, конструктивных и технологических изменений с целью улучшения его боевых и технических характеристик, а также продления жизненного цикла. По мнению специалистов, она позволяет в сравнительно короткие сроки и при ограниченных затратах добиться повышения эффективности образцов БТТ и привести их в соответствие с постоянно растущими требованиями, но на более короткий срок.

Модернизация осуществляется как в ходе текущего производства, так и на ранее выпущенных образцах, различается большая и малая модернизация.

Большая модернизация выполняется, как правило, на заводах, выпускающих серийные образцы, для улучшения одного-двух комплексных боевых показателей (огневой мощи, защищенности, подвижности и командной управляемости). Например, большой модернизацией можно считать установку динамической или активной защиты, электромагнитной защиты, нового вооружения или приборов разведки на новых физических принципах.

При малой модернизации улучшаются некоторые характеристики, и соответствующие работы осуществляются, как правило, в войсках при ремонте БТТ. Например, оснащение танка или другой БТТ новыми средствами связи или приборами наблюдения.

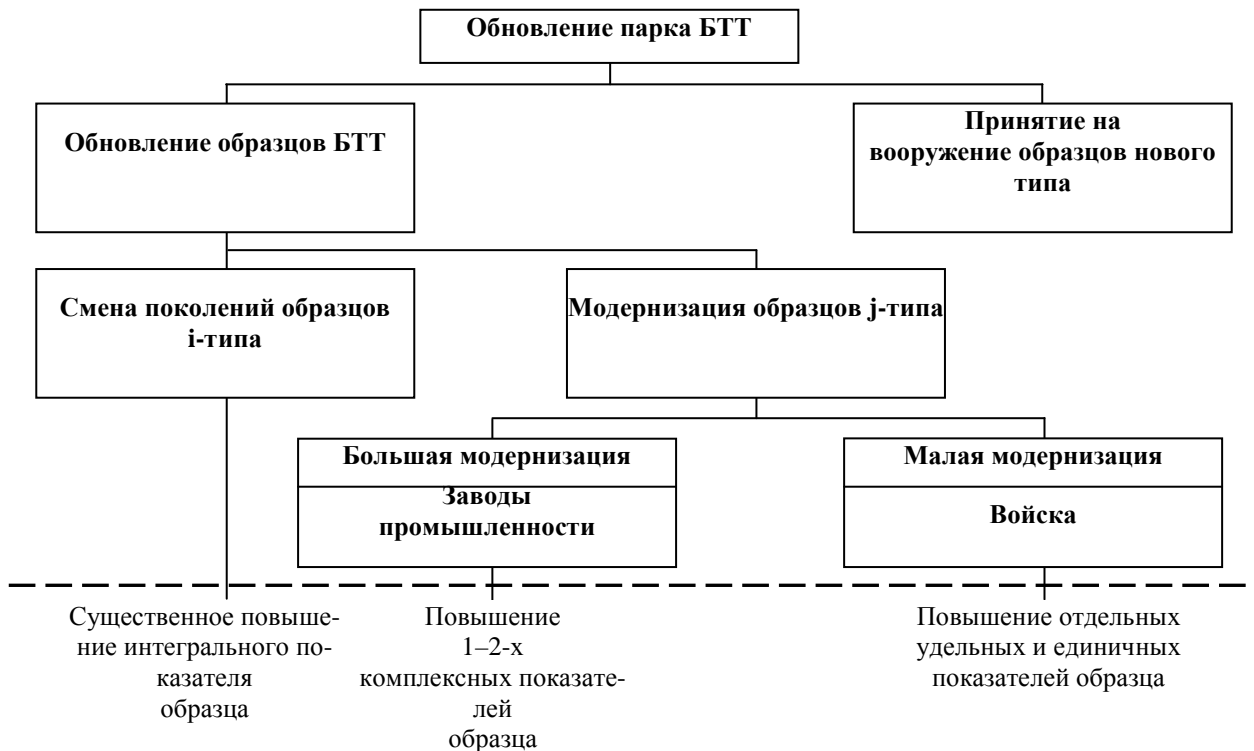


Рисунок 3 – Структура возможных этапов обновления парка БТТ

Смена поколений характеризується значительным повышением боевых свойств и эффективности образца, однако создание новых образцов связано с большими затратами времени и средств. Так, разработка танка “Леопард-1” заняла около девяти лет, английского “Чифтен” – почти десять, американского М60А1 – десять. Программа создания американского танка М1 “Абрамс” обошлась более чем в 1 млрд. долларов.

В реальных условиях эксплуатации в составе парка БТТ могут входить образцы двух или трех поколений. Как правило принятие на вооружение образца нового поколения происходит после проведения двух-трех модернизаций образцов предыдущего поколения, которые некоторое время также остаются на вооружении.

Следует отметить, что на обновление парка и обновление образцов определяющее влияние оказывают:

- темп научно-технического прогресса, воздействующий, с одной стороны на накопление технического задела, а с другой стороны – на моральное старение образцов, находящихся на вооружении;
- уровень финансовых ресурсов;
- производственные мощности отрасли;
- временные ограничения.

Осуществление переоснащения войск даже одним образцом техники возможно исключительно на основе целевой программы на государственном, а иногда и международном уровнях, которая создается по методу программно-целевого планирования. Такая целевая программа представляет собой срочный план, включающий как работы, так и исполнителей, поставщиков покупных изделий, выделяемые ресурсы. При этом согласованное по времени программное планирование ведется применительно к предприятиям, учреждениям, ведомствам, министерствам, отраслям и регионам.

Таким образом, программно-целевое планирование является механизмом реализации научно-технической политики для обороны государства.

Все современные объекты ВВСТ являются сложными техническими системами, подсистемы которых, также, в свою очередь представляют собой СТС. Это обуславливает тот факт, что время разработки образца становится соизмеримым, а иногда и превышает срок нахождения этого образца на вооружении. Такое положение обусловлено высокими общими темпами научно-технического прогресса, достижения которого в первую очередь стремятся использовать в военной сфере.

Жизненный цикл образца ВВСТ по системе, принятой в США, включает 8 фаз:

- исследование и формирование (разработка) концепции образца ВВСТ;
- демонстрация и оценка (подтверждение) возможности технической реализации концепции;
- проектирование, конструирование и разработка технологии производства;
- производство и развертывание;
- эксплуатация и ремонт;
- боевое применение;
- модернизация и повторная эксплуатация;
- снятие с вооружения по причине физического или морального старения.

В Украине этим фазам соответствуют следующие периоды и этапы:

- период прогнозирования и планирования (формирование основных направлений развития ВВСТ и разработка программ вооружения) и соответствующий этап-проектирование (поисковая научно-исследовательская работа);
- период создания (исследование и обоснование разработки и разработка образцов, включенных в программу вооружений) и соответствующие этапы-аванпроект, опытно-конструкторская работа и принятие образца на вооружение;
- производственно-эксплуатационный период (производство, закупка и поставка, эксплуатация, ремонт, модернизация, утилизация) и соответствующие этапы-подготовка производства и серийное производство образца, его эксплуатация и ремонт, модернизация и повторная эксплуатация, снятие с вооружения, конверсия или утилизация.

Фактическая продолжительность этапа разработки БТТ по статистическим данным изменяется в значительных пределах: от 2 до 9 лет, рациональная продолжительность составляет 5–6 лет. В Украине этот показатель выше из-за нестабильного финансирования и достигает 15 лет.

Этап серийного производства начинается с изготовления установочной партии и заканчивается снятием образца с производства. По статистике этот этап составляет для образца БТТ 10–15 лет.

Этап эксплуатации начинается с принятия образца на вооружение и прекращается со снятием его с вооружения. Продолжительность этапа составляет 30–35 лет.

Этап утилизации начинается с разработки технологии утилизации и завершается с окончанием утилизации запланированного количества образцов БТТ.

Заметим, что распространение пороха и его применение в военной сфере длилось около 600 лет, внедрение кремниевого замка к стрелковому оружию – около 200 лет, радио от момента изобретения до практического применения – 12 лет, печатные платы – 5–6 лет, “чипы”, микропроцессоры – 2–3 года.

Поэтому особую важность приобретает долгосрочное (на 10-15 лет) планирование, поскольку осуществление целевых программ требует привлечения значительных ресурсов в течение длительного времени.

Применительно к вооруженным силам конечной целью программного планирования является обеспечение необходимого темпа поступления в войска новых образцов техники при условии рационального (обоснованного) сочетания их типажа и номенклатуры.

В общем случае задача программного планирования представляется как одна из задач теории принятия решения. Однако, как при ее постановке, так и в процессе решения этой задачи объективно существует ряд особенностей, которые выделяют задачу программно-целевого планирования в самостоятельный класс задач.

Особенность 1. Задача планирования начинается с анализа и обобщения информации о состоянии системы в данный момент времени. Далее результаты такого анализа сравнивают с показателями имеющейся системы. Такое сравнение осуществляется на основе и с помощью, так называемых представительских образцов, таких образцов, которые олицетворяют собой объект, техническую систему, обладающую качеством и свойствами, которые, как минимум необходимо достигнуть, или превзойти. Естественно, что достижение или превосходство может быть достигнуто путем наращивания количества уже имеющихся (разработанных) образцов – экстенсивный путь, или путем разработки нового образца.

Разработка нового танка может быть оправдана, если по комплексной оценке его боевой эффективности он будет превосходить:

- наиболее распространенный серийный танк не менее чем в 1,5–1,8 раза;
- модернизированный или находящийся в стадии освоения серийного производства танк не менее чем в 1,3–1,5 раза;
- разрабатываемые за рубежом танки не менее чем в 1,2–1,3 раза.

При этом в проекте должна быть предусмотрена возможность дальнейшего повышения боевой эффективности нового танка за счет модернизации его в ходе серийного производства не менее чем в 1,5 раза.

Таким образом первой особенностью ПЦП является обоснование необходимости разработки нового образца.

Особенность 2. Каждый образец ВВСТ создается для решения конкретных задач. Поэтому при его разработке ключевым этапом является определение приоритета – то есть того основного качества или свойств, ради которого и осуществляется новая разработка.

Отметим, что в большинстве практических задач по разработке ВВСТ разработчики имеют дело не с одной, а с рядом целей. Часто требования для достижения этих целей противоречивы, и даже взаимоисключающие. Поэтому особое место на этом этапе отводится задаче выбора, решение которой осуществляется на основе многовариантных проработок. Очевидно, что решение такой задачи выбора представляет собой некий вариант компромиссного решения, обеспечивающий достижение приоритета с учетом иерархии других, менее значимых целей, в рассматриваемой проблемной задаче.

В общем случае наращивание числа целей приводит к усложнению задачи и, в конце концов, утрате возможности ее формализованного решения. Поэтому прибегают к иерархическому структурированию объекта, как СТС, его агрегатированию, что приводит к укрупнению показателей свойств объекта.

Так основными свойствами объекта БТТ являются огневая мощь (О), защищенность (З), подвижность (П) и командная управляемость (У). В соответствие с этими четырьмя свойствами могут быть составлены следующие формулы приоритетов:

1	О/З/П/У	7	П/З/У/О	1	О/П/У/З	1	П/У/З/О
2	З/О/П/У	8	У/З/О/П	3.	3/П/У/О	9.	У/П/О/З
3	П/З/О/У	9	О/П/З/У	4.	1 П/О/У/З	0.	2 О/У/З/П
4	У/З/П/О	1	З/П/О/У	5.	1 У/О/П/З	1.	2 З/У/П/О
5	О/З/У/П	0.	1 П/О/З/У	6.	1 О/У/П/З	2.	2 П/У/О/З
6	З/О/У/П	1.	1 У/О/З/П	7.	1 З/У/О/П	3.	2 У/П/З/О

2.

8.

4.

Таким образом, второй особенностью ПЦП является выбор приоритета и компромиссов.

Особенность 3. Разрабатываемый новый образец по уровню технических решений должен обеспечивать решение задач по его применению по назначению в течение как можно более длительного времени без потребности новой разработки. В этом случае затраченные на разработку и изготовление ресурсы полностью оправданы. Для обеспечения такого результата необходим прогноз, причем не только возможных технических решений, но и целевого назначения, возможности применения объекта.

Глобальной, объективно существующей проблемой прогнозирования является неопределенность будущего. Однако в технике представляется возможным с определенной долей неопределенности предвидеть перспективы ожидаемых результатов научно-технического прогресса. Такие результаты могут быть выявлены интуитивными методами – методами экспертных оценок.

Применение интуитивных методов обусловлено рядом причин:

1. Для СТС адекватная математическая модель не может быть построена или будет настолько сложна, что не может быть исследована на основе имеющегося математического аппарата

2. Применение методов оптимизации для СТС может носить лишь оценочный характер, поскольку построение многопараметрической целевой функции представляет само по себе сложную задачу, требующую знания всех взаимосвязей, а с другой стороны методы многопараметрической оптимизации формальны, требуют обоснования и проверки полученного результата и все равно, максимум по двум переменным.

3. Практические задачи проектирования решаются итерационно, для выработки последовательных решений необходимо учитывать качественную информацию, которую невозможно формализовать, и в конечном итоге обращаются к эксперту.

Создание и развитие методов обоснования решений в слабоформализуемых задачах реализуется методологией эвристических приемов, которая применительно к задаче выбора сформировалась в относительно новое научное направление – искусственный интеллект (рис. 4).

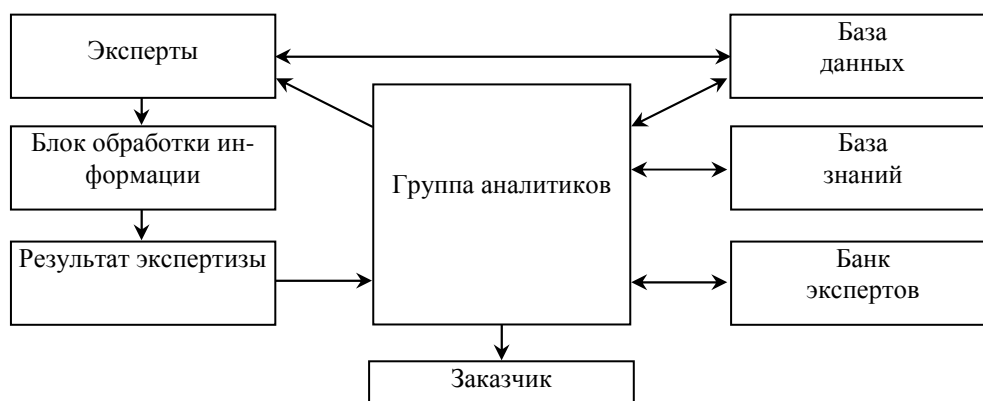


Рисунок 4 – Структурная схема системы информационного обеспечения принятия решений

В работе [1] предложены формулы приоритетов, которые построены на основе трех основных свойств объекта БТТ: подвижность, огневая мощь и защищенность. Следует подчеркнуть, что такая схематизация достаточно условна, поскольку учитывает лишь качественные свойства. Действительные приоритеты лежат в более широкой области, а иногда трудно определяемы, поскольку, скорее всего комплексные.

Результаты анализа выявленных приоритетов наиболее совершенных танков послевоенной разработки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ выявленных приоритетов танков

Государство, наименование танков	Масса, т	Уровень защиты, мм*	Огневая мощь**	Характеристики подвижности***	Приоритеты
1	2	3	4	5	6

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Первое послевоенное поколение, 1946–1960 г.г.					
США М46, 47, 48, 60	46–50	200/250	– 90; 105мм – оптический дальномер	– 48км/ч – ГМТ – дизель	О–З–П

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Великобритания Центурион Мк.1– 10	50–52	200/300	– 76,2; 83,4; 105 мм – СТВ – ЦУ – ИК приборы	– 35 км/ч – МТ – карбюратор	О– 3– П
СССР, Т– 44, 54, 54А, 54Б, 55, 62	36	200/ 200–300	– 85; 100; 115 мм – СТВ – ЦУ	– 55–50 км/ч – МТ – дизель	О– 3– П
Второе послевоенное поколение, 1961–1979 г.г.					
США М60А1, А2, А3, М1	48–51	250/ 250–305	– 105 мм – СУО первого поколения	– 48–72 км/ч – ГМТ – газотурбинный двигатель (ГТД) (М1)	О– 3– П
Великобритания Чифтен Мк.1– 8	54–55	390/390	– 120 мм – СТВ – ЦУ	– 41–48 км/ч – МТ	О– 3– П
СССР Т– 64А, Б, Т– 72, Т– 80	36–42	305/410	– 125 мм – СУО первого поколения	– 60 км/ч – МТ	О– 3– П
Германия Леопард– 1, 1А1, 1А2, 1А3, 1А4	40–42	220–250/ 230–305	– 105 мм – СУО первого поколения	– 64 км/ч – ГМТ	П– О– 3
Франция АМХ– 30	32– 36	200/200	– 105 мм – – СУО первого поколения	– 65км/ч – МТ	П– О– 3
Швеция Strv 103В	37–39	250/– ****	– 105 мм – ЛД	– 60 км/ч – ГМТ – дизель и ГТД	3– П– О
Третье послевоенное поколение, 1980–1994 г.г.					
США М1А1, А1НА, 1А2	54–62	500–550/ 500–550	– 120 мм – СУО второго поколения	– 68 км/ч – ГМТ – ГТД	О– 3– П
Великобритания Челленджер Мк.1, 2	62–67,5	500–770/ 500–770	– 120 мм – СУО второго поколения	– 56–59км/ч – ГМТ	О– 3– П
СССР Т– 80УД	38	– – –	– 125 мм – СУО первого поколения	– 60км/ч – МТ	О– 3– П
Германия Леопард– 2, 2А1, 2А2, 2А3, 2А4,А5	55	430– .../ 430– ...	– 120 мм – СУО второго поколения	– 68 км/ч – ГМТ	О– 3– П
Франция Леклерк Мк.1		640–690/ 640–690	– 120 мм – СУО второго поколения	– 72 км/ч – ГМТ	О– 3– П

1	2	3	4	5	6
Израиль Меркава Мк.1–3	60–65	470–640/ 470–640	– 120 мм – СУО первого/второго поколения	– 46–60 км/ч – ГМТ	3– О– П
Четвертое послевоенное поколение, 1995–2010 г.г.					
США M1A2 SEP, TUSK		Н/д	– 120 мм – СУО третьего поколения	– 68 км/ч – ГМТ – ГТД	3– О– П
Великобритания Челленджер Мк.2Е	62,5	Н/д	– 120 мм – СУО третьего поколения	– 65 км/ч – ГМТ	3– О– П
Украина БМ «Оплот»	51,5	---	– 125 мм – СУО второго поколения	– 70 км/ч – МТ	3– О– П
Германия Леопард– 2А6, 2А6М, PSO, 2А7+ MBT “Revolution”	62,4	Н/д	– 120 мм – СУО третьего поколения	– 72 км/ч – ГМТ	3– О– П
Франция Леклерк Мк.2, 2+, AZUR	56,5	Н/д	– 120 мм – СУО третьего поколения	– 72 км/ч – ГМТ	3– О– П
Израиль Меркава Мк.4, LIC	65	Н/д	– 120 мм – СУО третьего поколения	– 65 км/ч – ГМТ	3– О– П

* – Эквивалент по стойкости корпус/башня.

** – ЛД – лазерный дальномер;

– СТВ – стабилизатор танкового вооружения;

– ЦУ – целеуказание наводчику;

– СУО первого поколения в составе: дневно-ночных прицелов со стабилизированной линией визирования, 1 или 2 лазерных дальномеров, СТВ, аналого-цифрового вычислителя, датчиков входной информации;

– СУО второго поколения на базе цифровых технологий и тепловизионных каналов разведки и прицеливания;

– СУО третьего поколения, в которую интегрированы многоспектральные приборы разведки.

*** – ГМТ – гидромеханическая трансмиссия;

– МТ – механическая трансмиссия;

– начиная со второго поколения все танки оснащаются дизельным двигателем, кроме американских танков серии M1 и советских Т-80, у которых газотурбинные двигатели.

**** – без башенный танк.

Как видно из представленных в таблице 1 данных далеко не полный спектр приоритетов настолько разнообразен, что вряд ли может быть формализован. Это, в свою очередь, приводит к выводу о том, что выявление приоритетов для перспективных разработок танка 4-го поколения должно опираться на экспертные методы. При этом четко сформулирована должна быть задача экспертизы.

Учитывая принципиальную неопределенность будущего как основное свойство всех прогнозов, по-видимому, целесообразно применить интуитивный метод при последовательных опросах, формулируя задачи от общих (например “Какие современные достижения могут быть применены для разведки целей?”), или “Какие новые средства поражения могут быть применены на бронетехнике вместо/вместе с

пушкой?"), с последующей конкретизацией вопросов на основе установленных ответов, и наконец, вплоть до детализации, которая должна предполагать и гибкую систему подбора опрашиваемых экспертов.

Таким образом, установив прогнозное перспективное направление НИОКР, следует отработать его на другой группе экспертов – более узкой специализации вплоть до оценки реализуемости.

Такая процедура предполагает две основные компоненты:

1. Наличие “гиперконструктора” – главного идеолога – способного не только осуществлять собственное видение перспективной разработки, но в первую очередь творчески осмысливая результаты каждого последующего этапа экспертизы, дополнять видение перспективного объекта, и направлять дальнейшую экспертизу, а может быть и отдельные проработки.

2. Базу экспертов разного масштаба – от машины в целом – до подсистемы, узла

В идеальном случае результатами такой работы должны быть:

1. Набор основных показателей, ожидаемых в результате осуществления проекта.

2. Определяющие научно-технические решения для отработки концепции машины.

Наличие этих двух результатов практически определяет предэскизную стадию проекта.

При этом следует понимать, что решение задачи командной управляемости и интеграции каждой машины в боевую информационно-управляющую систему, как по вертикали, так и по горизонтали, должна решаться параллельно.

Осуществление такого подхода требует специального подразделения, которое должно:

– анализировать информацию из различных источников;

– осуществлять отбор экспертов и подготовку анкет;

– проводить анализ экспертиз и готовить их результаты.

Причем, было бы полезно, чтобы у субподрядчиков были свои такие подразделения по соответствующим подсистемам и агрегатам.

Взаимный обмен информацией при этом следует осуществлять на основе системы PDM (Project Data Management) машины в целом, администратором которой является предприятие генерального конструктора, что кроме прочего полезно для постепенной адаптации в ISO 9000.

Однако, применение экспертных методов не означает отказ от инженерных методов проектировочных расчетов, которые проводятся для оценки осуществимости предлагаемых научно-технических решений и влияния одних показателей на изменение других, и характеристики объекта в целом.

Так, весьма полезными представляются оценки массы и габаритов машины, полезного внутреннего объема, которые комплексно выражаются величиной средней по объему или локальными значениями плотности компоновки [2]. Другим важным показателем для баланса машины в целом и башни, являются относительные массы отдельных подсистем, узлов и агрегатов.

Так, для танков II-й мировой войны и послевоенного поколения характерны следующие средние относительные массы [3].

Корпус и башня	0,485
Артиллерийская установка	0,131
Моторная установка	0,0848
Трансмиссия	0,0748
Ходовая часть	0,22

Однако, на современном этапе анализ вариантов на основе приведенных показателей, или их допустимых диапазонов уже недостаточен. Наиболее рациональным представляется подход, основанный на решении обратной задачи при формировании требований. Такой подход предполагает наличие соотношений, которые связывают свойства объекта и конструктивные параметры. Так для известной функции

полезного удельного объема $\left(\frac{V}{M}; \left[\frac{M^3}{\text{кг}}; \frac{M^3}{\text{т}} \right] \right)$ от уровня бронезащиты (В, мм), полученной на основе данных осуществленных проектов

$$\frac{V}{M} = f(B),$$

формулируется задача: определить массу машины для заданного уровня бронезащиты ($V_{\text{задан}}$). Эта задача имеет множество решений, параметром которых является величина, обратная плотности компоновки

$$\frac{V}{M} = \frac{1}{\rho_{\text{комп}}}.$$

Чтобы получить набор вариантов действительных решений необходимо дополнительно обусловить задачу ограничениями по массе (получим значение полезного объема V) или величиной внутреннего объема V (тогда получим значения массы M).

Если полученные значения отвечают требованиям проекта, то разработку продолжают. Если нет, то дорабатывают соответствующие требования или к уменьшению полезного объема V , или к уменьшению массы. Достижение этих перспективных требований и осуществляется на основе выявленных новых научно-технических решений и технологий.

Так на танке Т-64 снижение высоты машины и уменьшение объема БО достигнуто за счет отказа от заряжающего и применением нового элемента – механизма заряжания.

Другим мероприятием является вынос части оборудования за бронекорпус (ФВУ, БК пулемета).

Не выполнение условий по ограничению массы машины может быть решено путем применения новых материалов для обеспечения защищенности (кевлар, наполнители) и компоновочных решений (“Меркава”).

Возвращаясь к материалам таблицы 1, отметим:

– практически все совместные проекты разработки танков (единого европейского танка, ФРГ–Франция, ФРГ–Великобритания, Израиль–США) прекращались на этапе завершения НИОКР, с последующим применением разработок в собственном проекте;

– одним из важных приоритетов является минимизация затрат по комплектации на основе международной кооперации (“Osorio” – Бразилия, “Vickers” – Великобритания, “Arjun” – Индия, и ряд легких танков);

– повышение собственно боевых свойств характерно как приоритет для танков разработки СССР, что, по видимому, связано с особенностями финансирования, когда страна отдавала и делала для обороны все необходимое. Для других стран-разработчиков характерен комплексный подход, когда объект бронетехники рассматривается как товарная продукция, которая кроме боевых свойств должна быть рыночно привлекательной.

Особенность 4. Интеграция в ISO – неотложная необходимость для продукции машиностроения ОПК Украины. Современная мировая практика машиностроения характеризуется глобальным информационным обеспечением, широкой кооперацией, специализацией производства изделий и технологий, что стало возможным и осуществляется на основе единой нормативной базы – стандартов ISO.

Различные страны-производители машиностроительной продукции в той или иной степени интегрированы в систему ISO, поэтому игнорирование ее может привести в ближайшем будущем к невостребованности производимой продукции, потере рынков сбыта, и, в конечном итоге, свертыванию производства.

Не смотря на наличие определенной ниши украинской продукции машиностроения на мировом рынке, в том числе бронетехники, современный этап интеграции машиностроительной отрасли Украины в систему ISO не может быть признан удовлетворительным. Это связано, с одной стороны, с отсутствием определенной соответствующими документами общегосударственного уровня политики проекционизма в этой области, а с другой – не вполне понимаемой отечественными производителями необходимости такого рода интеграции.

Все это определяет отставание от мирового процесса унификации и стандартизации промышленного производства, дальнейшее увеличение которого может разрушить окончательно отечественное машиностроение.

Для преодоления имеющегося отставания необходимо в первую очередь:

– разработать новые стандарты и адаптировать существующие стандарты Украины в соответствии с требованиями ISO-9000, с параллельным обучением и переподготовкой кадров, в первую очередь проектовщиков и технологов;

– интегрировать имеющиеся программные разработки в единую информационную систему, по крайней мере на отраслевом уровне, и провести ее сертификацию;

– разработать минимальный профиль, структуру и номенклатуру средств вычислительной техники для обеспечения работы по CALS-технологии, и внедрить их на предприятиях и КБ отрасли;

– разработать рекомендации и технические требования к создаваемым, адаптируемым и покупаемым программным продуктам для всех этапов жизненного цикла изделий машиностроения, для обеспечения интеграции в систему ISO.

Следует подчеркнуть, что уровень интеграции в ISO и применения CALS-технологий в промышленности индустриально развитых стран выше, чем в Украине, что объясняется инфантильным внедрением вычислительной техники и практически полным отсутствием или слабым уровнем разработанности направленно-ориентированного отечественного программного обеспечения.

Поэтому представляется важным в ОПК и прежде всего для изделий, представляющих интерес на мировом рынке, разработка и осуществление последовательных мероприятий по внедрению системы ISO-9000.

Учитывая значимость проблемы и масштабы задач уже сейчас необходимо инициировать процессы, которые сделают систему управления качеством выпускаемой продукции неотъемлемой органически интегрированной частью машиностроения Украины. К таковым следует отнести:

- адаптацию и последующую интеграцию в ISO одну из составляющих промышленной политики Украины, для чего КМУ должен дать соответствующее распоряжение МПП;
- осуществление мероприятий МПП по адаптации и интеграции в ISO невозможно без специальных кадров, для чего МПП совместно с МОН должны разработать систему подготовки и переподготовки кадров, вплоть до создания специального учебно-научного учреждения;
- МПП предусмотреть оценку выпускаемой продукции с точки зрения соответствия требованиям ISO, и включить ее в обязательный перечень паспорта изделия;
- предприятиям и КБ генеральных конструкторов Украины создать информационно-справочную систему комплектующих – как первый, базовый шаг адаптации к ISO.

Естественно, такие мероприятия потребуют средств, однако, следует подчеркнуть, что эти вложения следует рассматривать как государственное инвестирование, поскольку практическое внедрение ISO позволит уже в обозримом будущем повысить качество продукции, снизить ее себестоимость, и, наконец, сохранить промышленность с востребованной на внешнем рынке продукцией.

Это тем более важно, что требование наличия и соответствия электронного информационного сопровождения, особенно для оборонной продукции, используются зарубежными фирмами для вытеснения с международного рынка тех конкурентов, которые не могут его обеспечить.

Естественно, что перечисленные особенности не охватывают всю полноту современной проблематики разработки и создания ВВСТ вообще, и бронетехники в частности. Тем не менее, осознание этих особенностей является побудительным мотивом для решения соответствующих задач, которые в совокупности определяют общую направленность развития как ОПК, так и отечественного танкостроения.

После завершения этапа “холодной войны” политические разногласия все чаще стали разрешаться силовым путем (1999 г. – Сербия; 2003 г. – Ирак; 2003 г. – Афганистан). Значение военной силы не только не уменьшилось, но и стало серьезным аргументом в отстаивании своих интересов в межгосударственных спорах.

В сложившихся условиях одним из приоритетов любого государства стало создание современной армии, оснащенной системами и комплексами вооружения, военной и специальной техники, обеспечивающей адекватное реагирование на весь спектр угроз военной безопасности. По мнению военных специалистов, в период до 2030 года основные виды и типы ВВСТ ведущих зарубежных стран будут совершенствоваться:

- революционно (рост качественных характеристик на порядок и более) – за счет создания новых разведывательно-ударных систем, роботизированных боевых средств, оружия на новых физических принципах, управления войсками и оружием, др.;
- эволюционно – за счет повышения тактико-технических характеристик большинства существующих образцов.

Экстенсивное наращивание военной мощи повсеместно не используется, т.к. приводит к неадекватному расходованию средств и неспособности парировать возникающие угрозы.

В ближайшие годы будут развернуты сетевые системы, которые охватят ее звенья управления единой средой получения, передачи, обработки, хранения и распределения информации об оперативной (боевой), метеорологической, геофизической обстановке. Автоматизированные средства анализа данных и поддержки принятия решений, передачи приказов, команд и контроля их исполнения станут важнейшей компонентой систем вооружений ведущих стран, обеспечивающей существенный рост боевых потенциалов объединенных группировок вооруженных сил.

К 2020 году ожидается ввод в боевой состав армий промышленно развитых стран ряда новых систем вооружения, которые в настоящее время разрабатываются и испытываются: разведывательно-информационных систем, высокоточного гиперзвукового оружия, беспилотных различных авиационных комплексов, унифицированных мобильных сухопутных боевых платформ.

В большинстве передовых стран сухопутным войскам отводится решающая роль в реализации концепции “передового присутствия”, осуществлении своевременного и мощного реагирования на кризисы и конфликты в различных регионах мира.

В период до 2025–2030 гг. основу ударной мощи СВ США, а в других странах до 2038 года будут составлять бронетанковые и механизированные соединения и части, основным вооружением которых является бронетанковое вооружение и техника.

Опыт мирового бронетанкостроения свидетельствует о том, что в последние двадцать лет произошло:

- резкое сокращение серийного выпуска БТТ, особенно тяжелой бронетехники;
- расширение номенклатуры выполняемых поисковых и прикладных научно-исследовательских (НИР) и опытно-конструкторских работ (ОКР);
- обновление в передовых танкостроительных странах образцов основных боевых танков каждые 6–8 лет, а легкой бронетехники каждые 5–7 лет.

С целью экономии финансовых и трудовых ресурсов при создании и производстве обновляемых образцов БТТ стали применяться:

- широкая международная кооперация;
- метод эволюционного создания образцов ВВСТ, при котором внедрение новых технологий производится поэтапно по мере их готовности.

Такая практика организации работ позволяет создавать новые образцы ВВСТ, сохранять производственные мощности, готовые к серийному выпуску этих образцов при минимальных издержках.

В настоящее время в украинской армии происходит непрерывный процесс сокращения численности парка БТТ, их боевой эффективности и как следствие, сокращение потенциального суммарного показателя. Вопрос на сегодня в том – есть ли у нас возможность мириться с такой негативной тенденцией или уже нет?

На современном этапе не ясно, какую форму будут иметь вооруженные столкновения, поэтому целостное представление о танке (ОБТТ) будущего существует на уровне предположений. Специалисты НАТО считают миротворческие и им подобные операции как основу для формирования задач сухопутных сил и требований к технике, которыми они оснащаются. Это привело к резкому сокращению бронетанковой компоненты в странах Западной Европы и НАТО в целом.

Однако, за пределами стран НАТО (Восточная Азия, Ближний Восток) ведутся разработки и производятся танки. Причем, если 10–30 лет назад эти страны ориентировались на страны-разработчики танков – США, Россия, Англия, Франция – то сейчас они имеют достаточный опыт и специалистов, технологии и главное средства для собственных разработок и производства.

То обстоятельство, что эти страны имеют достаточно средств для своих разработок является определяющим. Поэтому в обозримом будущем могут быть созданы машины на новой концептуальной, конструкторской и технологической основе.

С другой стороны, разработки ОБТТ становятся все дороже, что обосновывает рост цен и эксплуатационных затрат. Насколько затраченные ресурсы оправдаются достоверно оценить невозможно. И хотя имеется большое количество типажей ОБТТ, их характеристики отличаются, но находятся во вполне определенном диапазоне значений. Поэтому можно прогнозировать переход к качественно новому уровню этого класса техники (при этом не исключено и полное ее снятие, как, например, прекращение строительства линейных кораблей во флоте, замена крупнокалиберной артиллерии ракетным оружием, и тому подобное).

Понимания неопределенность будущего поколения танков, тем не менее, можно выделить проблемные направления НИОКР, которые ведутся на современном этапе или являются перспективными (таблица 2).

В таблице 2 основные свойства ОБТТ обозначены цветами, а цвет в ячейках перспективных разработок говорит о взаимосвязи и взаимном влиянии на другое свойство, которое и обозначено соответствующим цветом.

Таким образом, видно, что необходимы системные, фундаментальные исследования для осуществления качественного изменения сложной технической системы – объекта бронетанковой техники.

Литература

1. Анипко О.Б. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники [Текст] / О.Б. Анипко, М.Д. Борисюк, Ю.М. Бусяк. – Х.: Изд-во НТУ “ХПИ”, 2008. – 188 с.
2. Анипко О.Б. Концептуальные принципы конструкторско-компоновочных решений на предэскизных этапах проектирования объектов бронетехники [Текст] / О.Б. Анипко, Ю.М. Бусяк, И.В. Цебрюк // Интегровані технології та енергозбереження. – 2011. – №1. – С. 82–86.
3. Козлов А.Г. Конструкция и расчет танков / А.Г. Козлов, К.А. Талу. – М.: Академия БТВ им. Сталина, 1958.

Bibliography (transliterated)

1. Anipko O.B. Konceptual'noe proektirovanie ob"ektov bronetankovoj tehniki [Tekst] O.B. Anipko, M.D. Borisjuk, Ju.M. Busjak. – H.: Izd-vo NTU “HPI”, 2008. – 188 p.
2. Anipko O.B. Konceptual'nye principy konstruktorsko-komponovochnyh reshenij na predjeskiznyh jetapah proektirovanija ob"ektov bronetehniki [Tekst] O.B. Anipko, Ju.M. Busjak, I.V. Cebrjuk Integrovani tehnologii ta energozberezhennja. – 2011. – #1. – p. 82–86.
3. Kozlov A.G. Konstrukcija i raschet tankov A.G. Kozlov, K.A. Talu. – M.: Akademija BTV im. Stalina, 1958.

УДК 355.014

Аніпко О.Б., Бусяк Ю.М., Баулін Д.С., Цебрюк І.В.

АНАЛІЗ ПРІОРИТЕТІВ І ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕНДЕНЦІЙ ТАНКОБУДУВАННЯ

Представлено дані про пріоритети розробки здійснених зразків бронетехніки та проблемні завдання сучасного етапу розвитку бронетанкової техніки в Україні й світі.

Anipko O.B., Busjak J.M., Baulin D.S., Tsebrjuk I.V.

THE ANALYSIS OF PRIORITIES AND FORECASTING OF TENDENCIES OF TANK BUILDING

The introduce information about priority of treatment of implement standards of armored technique and problem tasks of the modern stage to development of the armored technique in Ukraine and world.