

Товажнянский Л.Л., Арсеньева О.П., Петар Варбанов, Капустенко П.А., Хавин Г.Л., Лидия Чучек

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ПОДОГРЕВА ОТОПИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ЗАВОДЕ**

**Введение.** Проблема реконструкции нефтеперерабатывающих заводов, в том числе увеличение степени рекуперация тепла и совершенствование теплопередающего оборудования, по-прежнему является одной из важнейших задач общей модернизации технологии переработки нефти, энергосбережения и экологической безопасности. С другой стороны различная конфигурация заводов, многообразие видов сырья по качественному составу и конечной продукции производства, не позволяют выработать однозначные подходы к решению этой задачи. Многообразие процессов нагрева и охлаждения в процессе технологии как неглубокой, так и глубокой переработки нефти, позволяют применять рекуперацию тепла различных стадий обработки сырья. Кроме того, высокотемпературные технологические процессы делают возможным осуществлять подогрев воды централизованного отопления для коммунальной сферы. Все это делает задачу тепловой реконструкции технологической схемы, а также замену или модернизацию теплового оборудования для повышения уровня энергосбережения, актуальной задачей, имеющей научную и практическую ценность.

**Анализ исследований и публикаций.** Проблеме тепловой реконструкции нефтехимических заводов посвящено огромное количество теоретических и экспериментальных исследований. В настоящее время наиболее эффективным методом в многочисленных исследованиях принято считать «пинч-анализ» [1,2]. Метод «пинч-анализа» позволяет на стадии проектирования и при модернизации снизить энергопотребления за счет более высокой доли регенерации тепла, которое достигается повышением тепловой интеграции технологического процесса, что и есть главное приложение «пинч-анализа». При этом достижения «пинч-анализа» не могут быть реализованы без внедрения нового современного теплопередающего оборудования и правильного его расчета.

Усовершенствование регенерации тепла является одним из наиболее эффективных методов снижения энергопотребления. Усовершенствование регенерации тепла напрямую связано с оптимизацией и реконструкцией теплообменных систем. Выбор оптимального варианта (то есть связанного с наименьшими затратами на дополнительную площадь поверхности теплообмена и на структурные изменения сети) из множества альтернатив является важной составной частью проектирования.

Существующие методы реконструкции теплообменных систем применяют либо «пинч-анализ», либо методы математического программирования. При использовании «пинч-анализа» процедура проектирования состоит из двух этапов: этапа определения целевых значений и этапа проектирования. Основное преимущество использования этого метода заключается в интерактивном характере процедуры проектирования. К недостаткам следует отнести длительные процедуры ручного расчета, а также возможность генерирования слишком сложных вариантов проекта из-за неявного учета стоимостных критериев при расчете.

С применением методов математического программирования задача проектирования оптимальной теплообменной системы формулируется как задача нелинейного математического программирования, состоящая из набора уравнений и ограничений. К преимуществам подобных методов следует отнести возможность автоматизации расчетов, а к недостаткам – ограниченные возможности для активного участия проектировщика и необходимость в ряде существенных упрощений при оценке стоимости.

Среди последних публикаций необходимо отметить работу [3], посвященную общей проблеме утилизации отработанного тепла при различных расходах теплоносителей. Улучшение технологии, применение нового оборудования требуют внесения изменений в топологию установки теплообменников даже, когда теплообменная сеть была запроектирована с использованием «пинч-анализа». С этой точки зрения рассмотрена задача снижения затрат утилит при модернизации теплообменных сетей (HEN), а также их использование в коммунальном теплоснабжении.

Новый графический метод для приложений «пинч-анализа», в частности представления теплообменной сети, предложен в [4]. Графики, разработанные в этой работе, могут быть использованы для анализа энергетической эффективности существующих сетей. Они также могут быть применены для того, чтобы изменить основную конструкцию сети или уже существующую сеть для улучшения интеграции энергии и минимизации расхода топлива.

В работе [5] рассмотрена реконструкция отделения предварительного нагрева сырой нефти перед блоком перегонки. Используя программное обеспечение, авторам удалось промоделировать теплообменную сеть с лучшими показателями по сравнению с существующей сетью. Проведенный анализ показал

не только возможность повышения выходной температуры сырой нефти, но и экономии тепла для достижения этой цели.

Для процесса перегонки сырой нефти операционные переменные процесса дистилляции оказывают критическое влияние на стоимость продукции и потребление энергии. Однако существует противоречие между минимальным потреблением энергии и максимальным выходом продукции, которое не позволяет добиться максимального экономического эффекта. В статье [6] сформулирован системный подход оптимизации годового экономического эффекта, учитывающий одновременно стоимость продукта и стоимость потребления энергии. Для описания процесса перегонки нефти используется Aspen Plus пакет, адаптированный для целей рекуперации тепла.

В работе [7] представлен двухуровневый подход для модификации теплообменных сетей, с целью максимизировать производительность и минимизировать эксплуатационные расходы существующих тепловых интегрированных систем дистилляции сырой нефти. На первом уровне допускается изменение топологии существующей сети: добавление, удаление, перестановка и перемещение теплообменников, изменение тепловой нагрузки, разветвление потоков, а также изменение разделения потоковых фракций. На втором уровне происходит проверка нарушения ограничений и устранение ошибок, которое производится нелинейным методом наименьших квадратов.

Разработке математических моделей и практическому проектированию пластинчатых теплообменных аппаратов для различных промышленных приложений посвящены работы [8,9], где рассмотрены не только вопросы прямого использования теплообменников, но и их оптимальный расчет, включая применение аппаратов различного типа.

Ключевой проблемой при эксплуатации теплообменных аппаратов всех типов является прогнозирование их работоспособности во времени. Несмотря на достигнутые успехи при моделировании появления и прогнозирования загрязнений во времени [10,11] этот вопрос для многих отраслей промышленности остается недостаточно изученным.

**Цель работы и постановка задачи.** Целью настоящего исследования является выбор и расчет рекуперативных теплообменных аппаратов для различных схем подогрева сырой нефти, полученных в результате тепловой реконструкции нефтеперегонного завода. Предусмотрена установка дополнительных аппаратов на позициях подогрева сырой нефти и подогрева воды на нужды коммунального теплоснабжения. Также необходимо провести анализ работоспособности различных тепловых схем и прогнозировать работу теплообменников в процессе эксплуатации. В рамках работы предусмотрено обоснование выбора той или иной схемы рекуперации тепла с точки зрения возможностей установки пластинчатого теплообменного оборудования, как наиболее эффективного с экономической точки зрения.

В результате «пинч-анализа» существующего отделения технологии подготовки сырой нефти и частично дистилляции было предложено две схемы установки теплообменников для подогрева воды центрального теплоснабжения: последовательная, рис. 1 и параллельная, рис. 2.

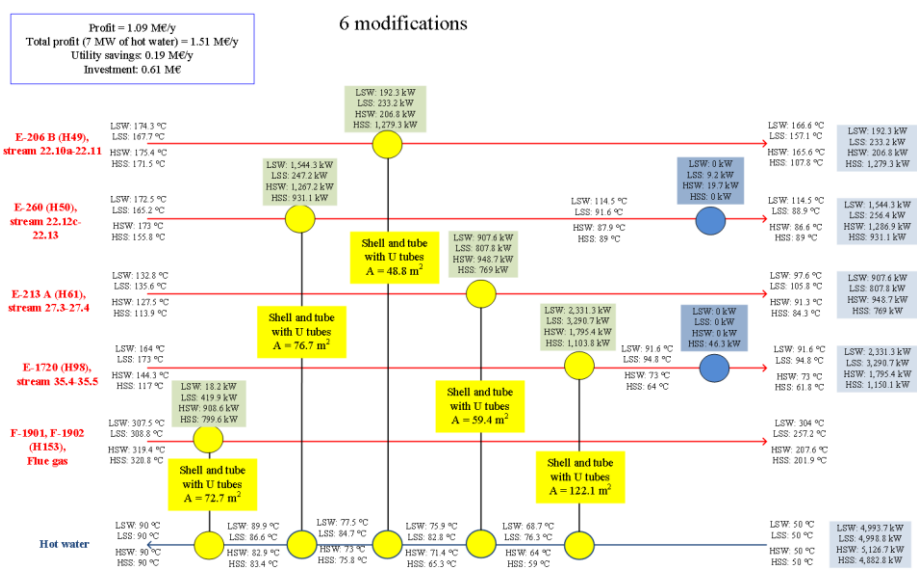


Рисунок 1 – Последовательная схема установки теплообменников подогрева воды центрального теплоснабжения

Для каждого из теплообменников в качестве греющего теплоносителя могут использоваться среды: легкий и тяжелый вакуумный газойль (LVGO и HVGO) и обычный газойль (GO). Эти среды в процессе эксплуатации завода могут использоваться в четырех модификациях – LWS; LSS; HWS; HSS, в зависимости от времени года и содержания серы в составе теплоносителя. Для каждой из сред и их модификаций, в результате расчетов получена отдельная тепловая нагрузка и значения входящей и выходящей температуры. Например, для первого теплообменника E206B из последовательной схемы подогрева воды, эти данные представлены в табл. 1. В параллельной схеме при расчете всех теплообменников принималась, что вода нагревается от температуры 50 °С до 90 °С.

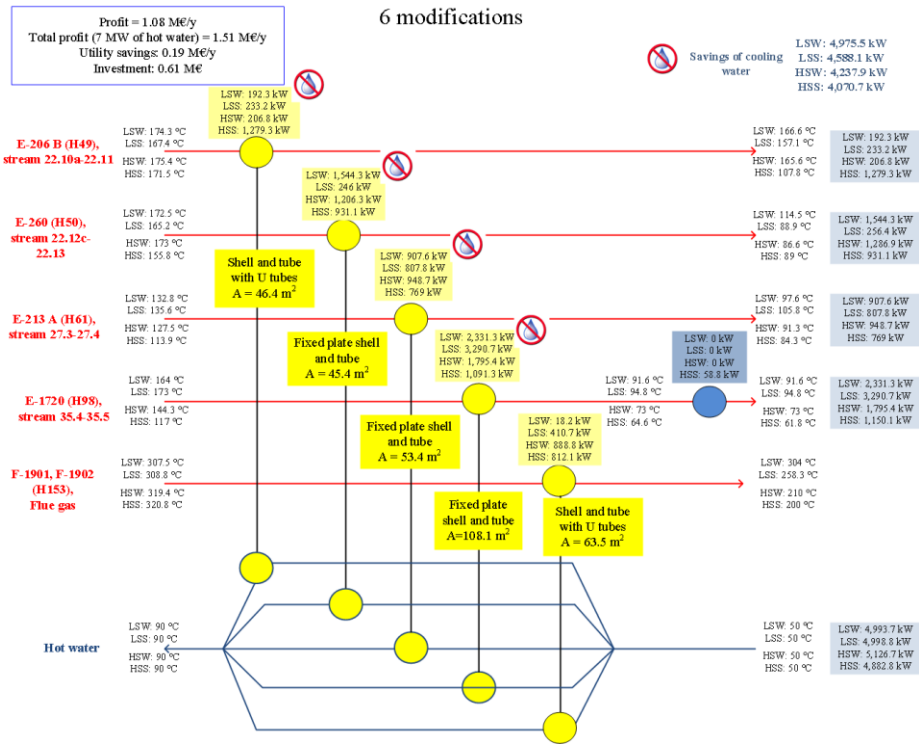


Рисунок 2 – Параллельная схема установки теплообменников подогрева воды центрального теплоснабжения

Таблица 1 – Входные данные для расчета теплообменника E206B последовательной схемы подогрева воды

Позиция	Поток	Тепловая нагрузка, кВт	Температура тяжелого газойля, °С		Температура воды, °С	
			Вход	Выход	Вход	Выход
1	LSW	192,3	174,3	166,6	75,9	77,5
2	LSS	233,2	167,7	157,1	82,8	84,7
3	HSW	206,8	175,4	165,6	71,4	73,0
4	HSS	1279,3	171,5	107,8	65,3	75,8

Для других теплообменников входные данные по средам изменяются примерно также, что можно видеть из рис. 1,2. Давление теплоносителей не превышает 15 бар. Потери давления по горячей и холодной стороне на каждом теплообменнике не должны превышать 50 кПа.

**Результаты решения.** В результате анализа схем установки теплообменников, давления и температурных режимов работы было принято решения принять к установке сварные теплообменники перекрестного тока типа Comrabloc с пластинами из нержавеющей стали AISI 316L, толщиной 0,8 мм (для теплообменников марки CPL50 и выше толщина пластины – 1 мм). Теплообменники типа Comrabloc предназначены для работы с температурами до 350 °С и давлением до 40 бар. Расчеты проводились с запасом коэффициента теплопередачи 10 %.

Согласно техническому заданию предполагается спроектировать 5 пластинчатых теплообменных аппаратов E206B, E260, E213A, E1720 и F1901/F1902 для потоков, представленных на рис. 1,2.

Для позиции F1901/F1902 расчет не проводился, так как здесь предусмотрен нагрев воды потоком газа. Пластинчатые теплообменники для работы с охлаждением газа не используются, в связи с низкой эффективностью теплообмена.

Данные по расчету теплообменника E206B для последовательной и параллельной схемы нагрева воды (рис. 1,2) представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Расчет нагрева сетевой воды для теплообменника E206B по последовательной и параллельной схеме присоединения

Позиция / Поток	Марка	Компоновка	Площадь теплообмена, м <sup>2</sup>	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Запас, %	Касательное напряжение (горячая /холодная), Па
Последовательная схема						
1/LWS	CP20	1×20M /1×21M	2,562	840,6	20	41,10 / 142,4
2/LSS	CP20	1×20M /1×21M	2,562	1219	10	107,9 / 147,4
3/HWS	CP20	1×20M /1×21M	2,562	861,8	43	99,29 / 164,3
4/HSS	CPL50	3×12M+3×13M /4×19M	42,41	465,2	17	35,67 / 42,75
Параллельная схема						
1/LWS	CP20	2×10M /3×7M	2,562	791,5	53	130,7 / 2,45
2/LSS	CP20	2×10M /3×5M+ 1×6M	2,562	1041	12	108,7 / 6,30
3/HWS	CP20	2×10M /3×7M	2,562	848,8	32	96,21 / 2,83
4/HSS	CPL50	2×16M+4×17M /1×16M +5×17M	56,36	382,5	25	26,05 / 4,18

Заданные условия подогрева воды тяжелым вакуумным газойлем в последовательной схеме для теплообменника E206B могут быть выполнены установкой аппарата CP20 для позиций 1–3. При работе со средой HSS необходимо устанавливать отдельный аппарат CPL50, табл. 2.

В случае параллельной схемы подогрева воды отличие в расходах теплоносителей по горячей и холодной стороне (примерно до 7 раз) приводит к тому, что при выполнении условий теплопередачи по горячей стороне, по стороне воды резко падает скорость теплоносителя в каналах аппарата, табл. 2. В результате по стороне воды имеет место очень низкое значение касательного напряжения, что недопустимо. Величина касательного напряжения на стенке пластины в пластинчатом теплообменном аппарате является основной косвенной характеристикой отвечающей за загрязнение теплопередающей поверхности. Чем эта величина больше, тем прогнозируемое загрязнение меньше. Для аппарата на 4-й позиции тепловая нагрузка аппарата почти в 6 раз больше, чем на позициях 1–3. Как следствие, выбрана другая марка аппарата, другая компоновка и большая площадь теплопередающей поверхности. Заданные условия утилизации тепла тяжелого вакуумного газойля для подогрева воды в параллельной схеме для E206B могут быть выполнены только для позиций 1–3, установкой аппарата CP20. При работе со средой HSS необходимо устанавливать отдельный аппарат. При этом в случае параллельной схемы по стороне воды реализуются слишком малые значения касательного напряжения, что является недопустимым при эксплуатации.

Данные по расчету теплообменника E260 для последовательной и параллельной схемы нагрева воды (рис. 1,2) представлены в табл. 3. В случае реализации последовательной схемы присоединения теплообменников необходима установка аппаратов различных типоразмеров, табл. 3. Различие в тепловой нагрузке по потокам и нежелательных условий теплообмена приводит к выбору теплообменников с крайне низким коэффициентом теплопередачи. При этом имеются невысокие значения касательного напряжения по стороне тяжелого вакуумного газойля и по стороне воды. Теплообменники могут быть установлены на этих позициях, но их работа буде крайне неэффективна и они будут быстро загрязняться.

У аппарата на 2-й позиции (табл. 3) тепловая нагрузка почти в 4–6 раз меньше, чем на позициях 1,3–4. Как следствие, выбрана другая марка аппарата, другая компоновка и меньшая площадь теплопередающей поверхности. Установка такого аппарата нежелательна, так как по результатам расчетов у него низкий коэффициент теплопередачи и малое значение касательное напряжения. Устанавливать такой аппарат нельзя.

При параллельной схеме присоединения наблюдается примерно такая же картина, как и при последовательной. Причем условия работы будут даже хуже, чем для последовательной схемы.

Таблица 3 – Расчет нагрева сетевой воды для теплообменника E260 по последовательной и параллельной схеме присоединения

Позиция / Поток	Марка	Компоновка	Площадь теплообменника, м <sup>2</sup>	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Запас, %	Касательное напряжение (горячая /холодная), Па
Последовательная схема						
1/LWS	CPL50	2×16M+4×17M /3×25M +1×26M	56,36	486,4	26	30,47 / 25,60
2/LSS	CPK40	2×5M+15×6M /3×25M +1×26M	33,13	254,8	15	13,49 / 44,93
3/HWS	CPL75	5×14M+2×15M /4×20M +1×21M	133,1	230,9	16	13,54 / 16,62
4/HSS	CPL75	2×10M+5×11M /4×19M	100,2	270,5	17	18,83 / 17,11
Параллельная схема						
1/LWS	CPL50	4×15M+1×15M /4×15M +1×16M	42,41	503,7	17	38,32 / 7,28
2/LSS	CPL30	4×5M+10×6M /3×5M +11×6M	18,14	249,5	11	23,84 / 3,60
3/HWS	CPL50	3×16M+6×17M /2×16M +7×17M	84,26	253,5	15	23,20 / 3,77
4/HSS	CPL50	3×15M+5×16M /2×15M +6×16M	70,81	259,6	15	24,60 / 2,59

Данные по расчету теплообменника E213A для последовательной и параллельной схемы нагрева воды (рис. 1,2) представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Расчет нагрева сетевой воды для теплообменника E213A по последовательной и параллельной схеме присоединения

Позиция / Поток	Марка	Компоновка	Площадь теплообменника, м <sup>2</sup>	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Запас, %	Касательное напряжение (горячая /холодная), Па
Последовательная схема						
1/LWS	CPL30	5×16M /3×27M	18,14	1228	13	43,40 / 58,62
2/LSS	CPL30	4×20M /3×27M	18,14	1121	15	30,48 / 56,64
3/HWS	CPK40	4×15M /2×20M +1×21M	20,01	1209	10	32,60 / 67,18
4/HSS	CPL30	5×16M / 3×27M	18,14	1201	12	47,71 / 55,72
Параллельная схема						
1/LWS	CPL30	4×16M+1×16M /4×16M +1×17M	18,14	1126	12	43,39 / 5,94
2/LSS	CPL30	2×12M+2×13M /3×8M +3×9M	11,42	1426	10	74,28 / 16,39
3/HWS	CPK40	4×12M+1×12M /4×12M +1×13M	20,01	1221	13	49,62 / 7,05
4/HSS	CPK40	5×16M / 3×11M + 4×12M	26,57	1015	12	29,47 / 5,23

Заданные условия нагрева сетевой воды за счет утилизации тепла легкого вакуумного газойля для теплообменника E213A для последовательной схемы присоединения, могут быть выполнены для всех позиций, установкой аппаратов CPL30 и CPK40, табл. 4. В случае параллельной схемы по стороне воды можно видеть слишком низкие значения касательного напряжения, что приведет в процессе эксплуатации к быстрому загрязнению поверхности теплообмена со стороны холодного теплоносителя и невыполнению аппаратом своих функций.

Данные по расчету теплообменника E1720 для последовательной и параллельной схемы нагрева воды (рис. 1,2) представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Расчет нагрева сетевой воды для теплообменника E1720 по последовательной и параллельной схеме присоединения

Позиция / Поток	Марка	Компоновка	Площадь теплообмена, м <sup>2</sup>	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Запас, %	Касательное напряжение (горячая /холодная), Па
Последовательная схема						
1/LWS	CPK40	4×20M /3×27M	26,57	1370	18	28,76 / 37,23
2/LSS	CPK40	3×25M+1×25M /3×25M +1×26M	33,13	1485	18	29,99 / 42,52
3/HWS	CPK40	4×13M+2×14M /3×27M	26,57	1489	20	42,77 / 39,40
4/HSS	CPK40	4×13M+2×14M /3×27M	26,57	1359	20	31,33 / 36,26
Параллельная схема						
1/LWS	CPK40	4×16M+1×16M /4×16M +1×17M	26,57	1579	14	44,00 / 22,92
2/LSS	CPK40	4×20M+1×20M /4×20M +1×21M	33,13	1625	15	45,89 / 29,05
3/HWS	CPK40	5×14M+2×15M /4×14M +3×15M	33,13	1507	11	37,45 / 17,40
4/HSS	CPL50	2×16M+4×17M /1×16M +5×17M	56,36	967,6	20	12,63 / 3,08

Анализ рассчитанных теплообменников по параллельной схеме позволил сделать следующие выводы. Для аппаратов на 1–3 позиции хорошим решением является выбор теплообменников марки CPK40. Обеспечивается высокий коэффициент теплопередачи и вполне удовлетворительные значения величины касательного напряжения, как по стороне газойля, так и по стороне воды. Для аппарата на 4-й позиции не совсем удачные условия работы приводят к снижению коэффициента теплопередачи, росту теплопередающей поверхности и выбору аппарата CPL50 большего типоразмера. Касательные напряжения на стенке пластин также не удовлетворяют условиям хорошей работы, особенно по стороне воды.

**Заключение.** Из проведенных расчетов и их анализа можно сделать следующие основные выводы. Для нагрева централизованной сетевой воды последовательная схема присоединения теплообменников предпочтительней, чем параллельная. Это объясняется двумя причинами, во-первых, при последовательном подключении теплообменников скорость холодного теплоносителя (воды) в каналах намного выше, чем при параллельном подключении, что обеспечивает высокое значение касательного напряжения на стенке, а значит меньшее загрязнение поверхности теплообмена в процессе эксплуатации. Во-вторых, при последовательном подключении в целом коэффициент теплопередачи выше, что дает снижение площади теплообмена, и, как следствие, уменьшение стоимости устанавливаемых аппаратов.

Для обеспечения максимальной работоспособности теплообменников могла бы послужить установка двух аппаратов с меньшей площадью теплообмена параллельно. В случае малой нагрузки работает только один аппарат, второй находится на обслуживании. В случае большой нагрузки работают два аппарата.

В итоге на все позиции, представленные в техническом задании, предложены пластинчатые теплообменные аппараты перекрестного тока типа «Сомпроблос», которые полностью удовлетворяют заданным рабочим условиям и обеспечивают достаточно высокую работоспособность при длительной эксплуатации.

### Литература

1. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, И. Клемеш, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев // Харьков: НТУ «ХПИ», 2000. – 458 с.
2. Smith R., Jobson M., Chen L. Recent development in the retrofit of heat exchanger networks // Applied Thermal Engineering, 2010. – V.30, 16. – P. 2281–2291.
3. Heat exchanger network modification for waste heat utilisation under varying feed conditions / J.Y Yong., A. Nemet, P.S. Varbanov, J.J. Klemes, L. Cucek, Z. Kravanja, V. Mantelli // Chemical Engineering Transactions, 2015.– 43.–P. 1279–1284.
4. Gadalla M.A. A new graphical method for Pinch Analysis applications: Heat exchanger network retrofit and energy integration // Energy, 2015.– 81, N3. – P. 159–174.
5. A step toward saving energy using thermal modification of crude oil preheat network: A case / A. Shamseddini, M. Heravi, S.M. Jokar, M.R. Rahimpour // Energy Management and Efficiency for the Process Industries, 2015. – 51, N6. – P. 79–87.
6. Simultaneous optimization of heat-integrated crude oil distillation systems / Luo Y., Wang L., Wang H., Yuan X. // Chinese Journal of Chemical Engineering, 2015.– in press.
7. Optimization of Heat-Integrated Crude Oil Distillation Systems. Part II: Heat Exchanger Network Retrofit Model / L.M Ochoa-Estopier, M. Jobson, L. Chen, C.A. Rodriguez-Forero, R. Smith // Ind. Eng. Chem. Res., 2015. – 54 (18). – P. 5001–5017.
8. Optimal design of plate-and-frame heat exchangers for efficient heat recovery in process industries / O.P. Arsenyeva, L.L. Tovazhnyansky, P.O. Kapustenko, G.L. Khavin // Energy. – 2011. – 36(8). – P. 4588–4598.
9. Shell-and-Plate Heat Exchangers for Efficient Heat Recovery under the Industrial Application / O. Arsenyeva, L. Tovazhnyansky, P. Kapustenko, G. Khavin, A. Yuzbashyan // Chemical Engineering Transactions. – 2011. – 45. – P. 1231–1236.
10. The use of plate heat exchangers to improve energy efficiency in phosphoric acid production / P. Kapustenko, S. Boldyryev, O. Arsenyeva, G. Khavin // Journal of Cleaner Production. – 2009. – 17(10). – P. 951–958.
11. Accounting for the thermal resistance of cooling water fouling in plate heat exchangers / O.P. Arsenyeva, B. Crittenden, M. Yang, P.O. Kapustenko // Applied Thermal Engineering. – 2013. – 61(1). – P. 53–59.

### Bibliography (transliterated)

1. Osnovyi integratsii teplovyih protsessov. R. Smit, I. Klemesh, L.L. Tovazhnyansky, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev. Harkov: NTU “HPI”, 2000. – 458 p.
2. Smith R., Jobson M., Chen L. Recent development in the retrofit of heat exchanger networks. Applied Thermal Engineering, 2010. – V.30, 16. – P. 2281–2291.
3. Heat exchanger network modification for waste heat utilisation under varying feed conditions. J.Y Yong, A. Nemet, P.S. Varbanov, J.J. Klemes, L. Cucek, Z. Kravanja, V. Mantelli. Chemical Engineering Transactions, 2015.– 43.–P. 1279–1284.
4. Gadalla M.A. A new graphical method for Pinch Analysis applications: Heat exchanger network retrofit and energy integration. Energy, 2015.– 81, N3. – P. 159–174.
5. A step toward saving energy using thermal modification of crude oil preheat network: A case. A. Shamseddini, M. Heravi, S.M. Jokar, M.R. Rahimpour. Energy Management and Efficiency for the Process Industries, 2015. – 51, N6. – P. 79–87.
6. Simultaneous optimization of heat-integrated crude oil distillation systems. Luo Y., Wang L., Wang H., Yuan X. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2015.– in press.
7. Optimization of Heat-Integrated Crude Oil Distillation Systems. Part II: Heat Exchanger Network Retrofit Model. L.M Ochoa-Estopier, M. Jobson, L. Chen, C.A. Rodriguez-Forero, R. Smith. Ind. Eng. Chem. Res., 2015. – 54 (18). – P. 5001–5017.

8. Optimal design of plate-and-frame heat exchangers for efficient heat recovery in process industries. O.P. Arsenyeva, L.L. Tovazhnianskyu, P.O. Kapustenko, G.L. Khavin. *Energy*. – 2011. – 36(8). – P. 4588–4598.
9. Shell-and-Plate Heat Exchangers for Efficient Heat Recovery under the Industrial Application. O. Arsenyeva, L. Tovazhnyanskyu, P. Kapustenko, G. Khavin, A. Yuzbashyan. *Chemical Engineering Transactions*. – 2011. – 45. – P. 1231–1236.
10. The use of plate heat exchangers to improve energy efficiency in phosphoric acid production. P. Kapustenko, S. Boldyryev, O. Arsenyeva, G. Khavin. *Journal of Cleaner Production*. – 2009. – 17(10). – P. 951–958.
11. Accounting for the thermal resistance of cooling water fouling in plate heat exchangers. O.P. Arsenyeva, B. Crittenden, M. Yang, P.O. Kapustenko. *Applied Thermal Engineering*. – 2013. – 61(1). – P. 53–59.

Автори благодарят за финансову підтримку EC FP7 project “Distributed Knowledge-Based Energy Saving Networks” – DISKNET, Grant Agreement No: PIRSES-GA-2011-294933 and EC project “Efficient Energy Integrated Solutions for Manufacturing Industries” – EFENIS, Grant Agreement No. ENER/FP7/296003/EFENIS.

УДК 665.63:66.045.126

Товажнянський Л.Л., Арсенєва О.П., Петар Варбанов, Капустенко П.О., Хавін Г.Л., Лідія Чучек

#### **ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОБМІННИКІВ ПІДГРІВУ ВОДИ НЕФТЕПЕРЕРОБНОГО ЗАВОДУ**

Розглянуто задачу проектування теплообмінників для підігріву сільової води централізованого теплостачання на нафтопереробному заводі. Для кожної позиції вибору теплообмінника, що розрахована на основі «пінч-аналізу», проводився розрахунок 4-ох технологічних потоків. Було розглянуто послідовна та паралельна схеми приєднання теплообмінників. Запропоновано у якості рекуперативних теплообмінників підігріву води використовувати сварні апарати перехресного току типу «Compobloc». Зроблено вивід, що послідовна схема приєднання більш якісна для усіх позицій установки апаратів.

Tovazhnianskyu L.L., Arsenieva O.P., Petar Varbanov, Kapustenko P.A., Khavin G.L., Lidija Čuček

#### **DESIGNING OF HEAT EXCHANGERS NETWORK TO HEATING OF HEATING WATER OF OIL REFINERY FACTORY**

The problem of the design of heat exchangers for heating of the district water on the oil refinery factory is considered. For each positions was selected the heat exchanger, which was calculated on the basis of "pinch-analysis" calculations for 4 process streams. The serial and parallel connections of system heat exchangers are considered. As a recuperative heat exchanger for heating water was propose to use welding cross-flow type «Compobloc». Was made the conclusion is that the series connection is better than parallel for all positions of installation aids.