

Ю.Н. Лебедев  
НПК «Кедр-89»

## Модернизация установок переработки нефти с использованием энергосберегающих технологий

*Углубление переработки нефти требует больших затрат энергии. Для снижения энергетических затрат предложено в схемах установок переработки нефти использовать тепловые насосы, холодильные машины, тепловые трубы. Рассмотрены варианты использования для модернизации установок технологии «Hi-Tech».*

**Ключевые слова:** энергосберегающие технологии, тепловые насосы, тепловые трубы, винтовые компрессоры, рекуперация тепла

**В**се возрастающие требования к качеству моторных топлив приводят к значительному усложнению технологических схем и резкому увеличению затрат энергии на переработку нефти.

На **рис. 1** приведена типовая структура переработки нефти по топливной схеме. Анализ этой схемы показывает, что в зависимости от глубины переработки нефти совокупные затраты энергии на переработку достигают 15–17% мас. добываемой нефти (**рис. 2**). Это не только миллиарды рублей ежегодных затрат, но и миллионы кубических метров выбросов вредных веществ в атмосферу.

По абсолютным затратам энергии бесспорным лидером являются установки первичной переработки нефти вследствие большого объема переработки, затем следуют установки гидроочистки и риформинга, далее — каталитического крекинга и гидрокрекинга. Однако по удельным затратам энергии, приходящимся на 1 т перерабатываемого сырья, лидируют вторичные процессы: изомеризация, олигомеризация, этерификация и алкилирование [1].

Особенность этих процессов состоит в том, что они реализуются при сравнительно низких тем-

пературах — 150–200°С. Нагрев сырья, как правило, осуществляется водяным паром или высокотемпературным теплоносителем, предварительно нагретым в печи. Низкая температура выходящих с установки продуктов не позволяет достичь высокой степени рекуперации тепла, в результате чего удельный расход энергии на 1 т перерабатываемого сырья (**табл. 1**) достигает 70–100 кг условного топлива (у. т.).

Снижение энергетических затрат весьма актуальная задача, решение ее связано с совершенствованием технологии переработки, модернизацией оборудования, интегрированием тепловых потоков. В связи с этим представляет большой интерес использование современных высокотехнологичных разработок: абсорбционных преобразователей теплоты (АПТ), компрессионных тепловых насосов и тепловых труб, нашедших широкое применение в атомной и других отраслях промышленности.

К преимуществам АПТ относится способность работать в режиме производства как холода, так и холода и теплоты одновременно, при этом источником энергии служат вторичные ресурсы: водяной пар давлением 0,15–0,17 МПа, горячая вода температурой 85–95°С и др. [2].

Среди АПТ наибольшее распространение получили абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины (АБХМ), предназначенные для выработки холода при положительных температурах. В **табл. 2** приведены параметры серийно выпускаемых АБХМ. Себестоимость получаемого в них холода в 2–3 раза ниже себестоимости холода, получаемого в компрессионных холодильных машинах.

Еще одним преимуществом АБХМ является высокая надежность — срок службы не менее 20 лет. Машины оснащены современными приборами автоматического контроля и защиты от аварийных ситуаций. Диапазон автоматического регулирования производительности составляет 30–110% от номинальной. При применении АБХМ значительно уменьшается электропотребление, а капитальные затраты окупаются менее чем через два года.

Отечественные и зарубежные производители предлагают широкий выбор винтовых компрессоров для сжатия углеводородных газов широкого фракционного состава, включая попутный нефтяной газ, факельные газы и др. [3]. Агрегаты предназначены для эксплуатации во взрывоопасной зоне помещений класса В-1б, оснащены системой автоматизи-

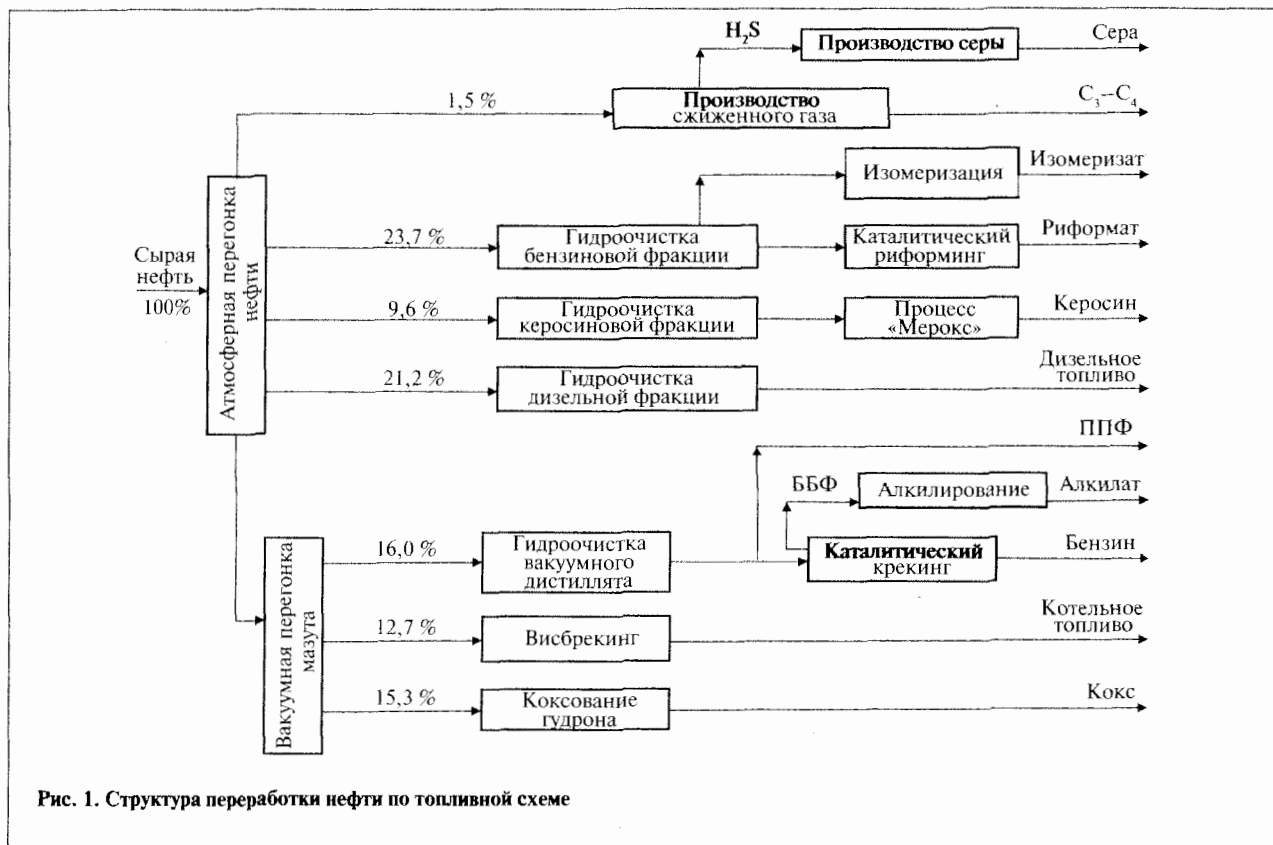


Рис. 1. Структура переработки нефти по топливной схеме

рованного контроля управления. Регулирование производительности осуществляется в пределах 100–50% с помощью частотного преобразователя. Использование современных материалов и технологий обеспечивает высокую надежность и долговечность компрессоров. Средний ресурс работы до капитального ремонта составляет 60 тыс. ч. Винтовые компрессоры не боятся загрязнений, толщина отложений не превышает зазоров между винтовыми

поверхностями роторов, излишки загрязнений выносятся вместе со сжатым паром. Технические параметры винтовых компрессоров серии ВГ приведены в табл. 3.

Тепловая труба — устройство, способное передавать большие мощности при малых градиентах температур. Она представляет собой герметизированную конструкцию, частично заполненную жидким теплоносителем. В зоне

нагрева жидкий теплоноситель испаряется с поглощением теплоты. В охлаждаемой зоне пар, поступающий из зоны испарения, конденсируется с выделением теплоты. Движение пара из зоны испарения к зоне конденсации происходит вследствие разности давления насыщенного пара в этих зонах. Возвращение жидкости в зону испарения происходит по капиллярной структуре (фи-

Таблица 1

Процесс	Удельные затраты энергии, кг у. т./т сырья	Процесс	Удельные затраты энергии, кг у. т./т сырья
Первичная переработка нефти	45–50	Производство МТБЭ	45–50
Риформинг бензина с предгидроочисткой	70–90	Алкилирование	90–120
Гидроочистка дизельного топлива	15–20	Замедленное коксование	45–55
Каталитический крекинг	25–30	Висбрекинг	25–30
Гидрокрекинг	30–40	Производство битума	15–20
Изомеризация	70–100	Производство водорода	35–50
		Газофракционирование	60–70

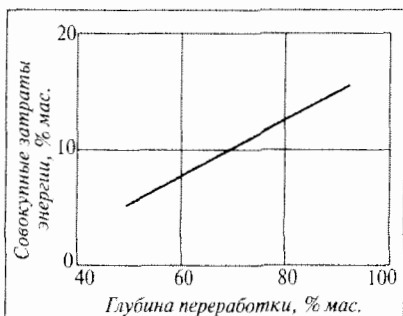


Рис. 2. Затраты энергии на переработку нефти в зависимости от глубины переработки

**Таблица 2**

Показатели	АПТ фирмы «Теплосибмаш»			
	АБХМ-600П	АБХМ-1500П	АБХМ2-1500П	АБХМ-1000Г
Холодопроизводительность, кВт	740	2000	1750	1100
Давление греющего пара, МПа	0,17	0,17	0,7	—
Потребляемая электроэнергия, кВт	4,5	12	12	7
Габаритные размеры (длина × ширина × высота), м	5,2×1,5×2,8	7,5×2,0×3,5	7,5×3,0×3,5	5,3×3,2×2,8
Масса (сухая), кг	8000	20 500	23 000	16 000

Примечание. Температура охлаждаемой воды на входе — 12°С, на выходе — 7°С, охлаждающей воды — соответственно 26 и 34°С.

**Таблица 3**

Показатели	Винтовые компрессоры ОАО «Пензкомпрессормаш»							
	ВГ10	ВГ20	ВГ30	ВГ45	ВГ60	ВГ80	ВГ100	ВГ120
Производительность по условиям всасывания, м <sup>3</sup> /мин	10	20	30	45	60	82	105	120
Мощность электродвигателя, кВт								
минимальная	75	160	200	250	400	500	630	800
максимальная	110	200	250	315	500	630	800	1000

Примечание. Для всех марок винтовых компрессоров давление газа в линии всасывания составляет от 0,08 до 0,2 МПа, в линии нагнетания — от 0,5 до 0,9 МПа; температура газа в линии всасывания — до 60°С, после компрессора — не более 100°С, после конечного охладителя — не более 60°С.

тилю), расположенной внутри тепловой трубы, чаще на ее стенках, под действием силы тяжести либо капиллярной разности давления. Эффективная теплопроводность тепловой трубы в десятки тысяч раз больше теплопроводности меди, серебра или алюминия и достигает 10<sup>7</sup> Вт/(м·К).

Фитильные тепловые трубы, в которых перенос жидкой фазы теплоносителя происходит под действием капиллярных сил, нашли широкое применение в атомной, космической и электронной технике в условиях пониженной гравитации или при ее отсутствии. Для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности наиболее перспективными являются гладкостенные гравитационные тепловые трубы с фазовым переходом — термосифоны [4]. Объясняется это тем, что фитильная структура внутренней поверхности трубы создает дополнительное гидравлическое сопротивление движению конденсата. В результате тепловые потоки в фитильных тепловых трубах меньше, чем в термосифонах [5].

Тепловые трубы можно использовать для утилизации тепло-

ты уходящих газов, охлаждения жидких потоков, нагрева термолабильных жидкостей при постоянной температуре и т.д.

Ниже рассмотрены некоторые варианты использования АПТ, компрессионных тепловых насосов, винтовых компрессоров и тепловых труб в процессах переработки нефти.

#### *Первичная переработка нефти*

Как отмечено выше, установки первичной переработки нефти относятся к наиболее энергоемким. Снижение затрат энергии возможно в двух направлениях: увеличения степени рекуперации тепла отходящих потоков и снижения затрат энергии в результате оптимизации схемы и технологических параметров дистилляции нефти.

Первое направление связано с оптимизацией схемы теплообмена и повышением температуры нефти, поступающей в нагревательную печь. В современных установках эта температура достигает 270–280°С. В то же время отходящие потоки температурой ниже 150°С, отдавая тепло воздуху в многочисленных аппаратах

воздушного охлаждения (АВО), практически не используются. Таким образом, существуют большие возможности для использования АБХМ, сокращения числа АВО и снижения энергопотребления.

Второе направление связано с оптимизацией схемы разделения, снижением уровня давления в атмосферной и вакуумной колоннах, что позволяет сократить тепловую нагрузку на печи, снизить температуру нагрева в атмосферной и вакуумной колоннах соответственно до 360 и 380°С, уменьшить разложение сырья и закоксовывание змеевика печи. Однако при снижении давления в колонне ухудшаются условия конденсации паров, выходящих сверху колонны. Для обеспечения давления, необходимого для подачи газа на блоки очистки от сероводорода и выделения сжиженного газа, предлагается использовать винтовой компрессор.

На рис. 3 приведена принципиальная технологическая схема первичной переработки нефти с использованием энергосберегающих технологий. Ее особенности:

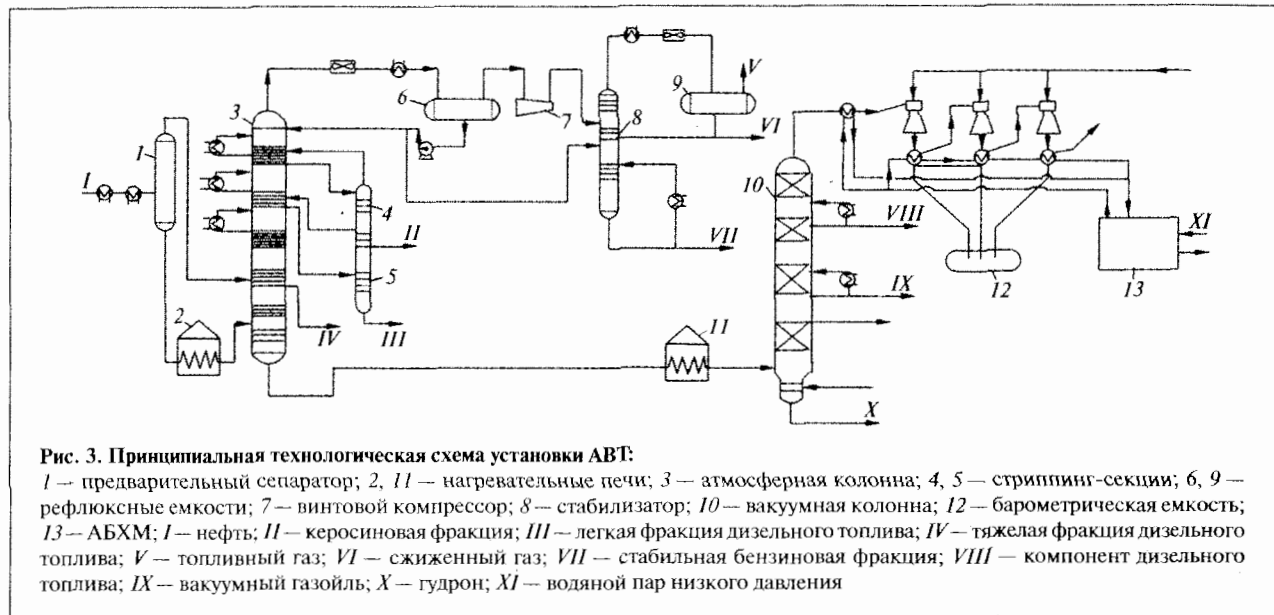


Рис. 3. Принципиальная технологическая схема установки АВТ:

1 — предварительный сепаратор; 2, 11 — нагревательные печи; 3 — атмосферная колонна; 4, 5 — стриппинг-секции; 6, 9 — рефлюксные емкости; 7 — винтовой компрессор; 8 — стабилизатор; 10 — вакуумная колонна; 12 — барометрическая емкость; 13 — АБХМ; I — нефть; II — керосиновая фракция; III — легкая фракция дизельного топлива; IV — тяжелая фракция дизельного топлива; V — топливный газ; VI — сжиженный газ; VII — стабильная бензиновая фракция; VIII — компонент дизельного топлива; IX — вакуумный газойль; X — гудрон; XI — водяной пар низкого давления

- температура нефти после ЭЛОУ достигает 280°C благодаря эффективной схеме теплообмена;

- для снижения перепада давления в печи установлен сепаратор I;

- избыточное давление наверху атмосферной 3 колонны составляет 0,14 МПа;

- температура нефти на выходе из печи — 360°C;

- для направления паров в стабилизатор 8 установлен винтовой компрессор 7, в котором давление паров повышается с 0,14 до 0,9 МПа.

Расчеты показывают, что благодаря снижению давления в атмосферной колонне на 0,08 МПа удельные затраты энергии уменьшаются более чем на 10%.

В вакуумном блоке благодаря низкому остаточному давлению наверху вакуумной колонны — 3,99 кПа и малому перепаду давления в самой колонне и трансферном трубопроводе температуру нагрева мазута на выходе из печи удастся снизить до 380°C. Для обеспечения остаточного давления 3,99 кПа в вакуумной колонне, в куб которой подается водяной пар, необходимо чтобы температура

в конденсаторе была на уровне 20°C. Для этого используется АБХМ 13, в которой оборотная вода захлаживается до 15°C. В качестве теплоносителя в АБХМ может быть применен водяной пар собственной выработки давлением 0,15 МПа.

В целом применение энергосберегающих технологий при первичной переработке нефти обеспечивает снижение удельных энергетических затрат до 12 кг у.т./т, окупаемость капитальных затрат составляет примерно 1,5 года.

### Гидроочистка и гидрооблагораживание средних дистиллятов

Эти процессы в современной технологии переработки нефти получили широкое распространение и заняли по абсолютным затратам энергии второе место после первичной переработки нефти. Основные направления снижения энергопотребления данными процессами:

- совершенствование каталитических систем;
- повышение концентрации водорода (включение в состав установки блока концентрирования водорода);

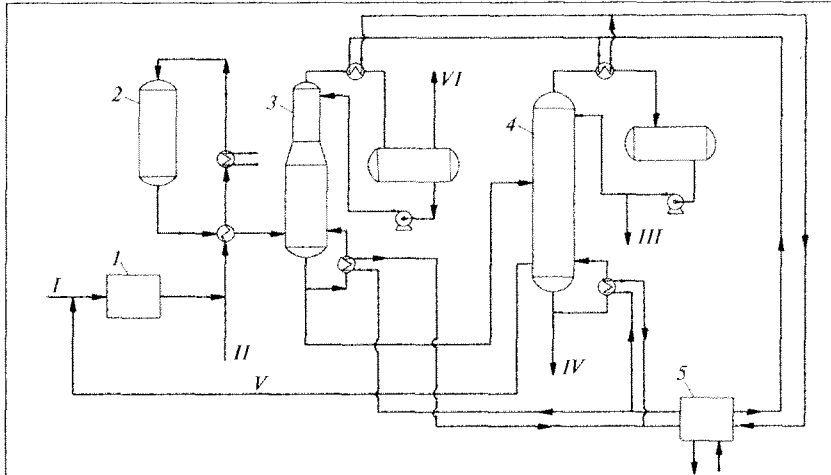
- сочетание схем горячей и холодной separации для более эффективного выделения водорода и максимального извлечения сжиженного газа;

- оптимизация схемы теплообмена, исключение аппаратов воздушного охлаждения с использованием холодильной машины для захлаживания оборотной воды.

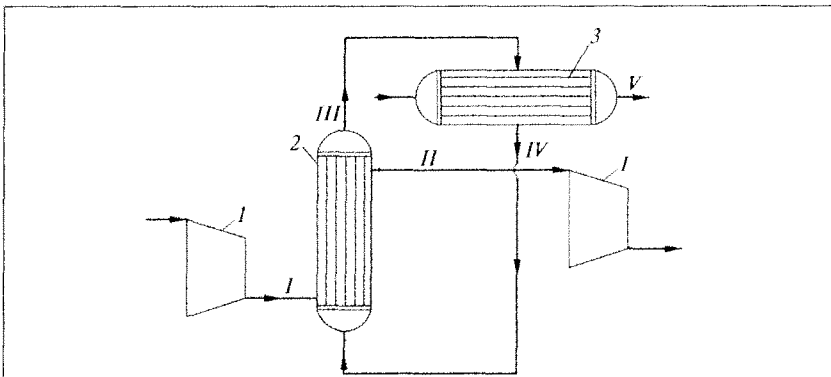
### Изомеризация, производство МТБЭ, газодистилляция

Эти процессы осуществляются при относительно низких температурах с четкой ректификацией близкокиспящих смесей, что требует высоких затрат энергии. Для снижения в данных процессах энергозатрат целесообразно и эффективно использовать тепловой насос и АПТ, например АБХМ.

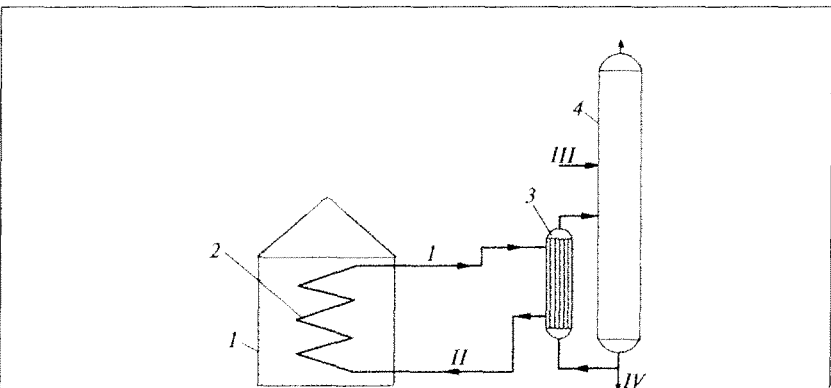
На рис. 4 приведена принципиальная технологическая схема установки изомеризации с использованием АБХМ, в которой одновременно вырабатываются холод для захлаживания оборотной воды в конденсаторах ректификационных колонн и горячая вода для нагревания кубов колонн. В качестве источника



**Рис. 4. Принципиальная схема установки изомеризации:**  
 1 — осушитель; 2 — реактор изомеризации; 3 — стабилизационная колонна;  
 4 — деизогексанизатор; 5 — АБХМ; I — сырье; II — водород; III — изомеризат;  
 IV — фракция  $C_{7+}$ ; V — рециркулят; VI — топливный газ



**Рис. 5. Принципиальная схема охлаждения газа с помощью тепловой трубы (ТТ):**  
 I — компрессор; 2 — испаритель ТТ; 3 — конденсатор ТТ; I — горячий газ; II — холодный газ; III — пар; IV — конденсат; V — вода



**Рис. 6. Принципиальная схема нагрева куба колонны с помощью тепловой трубы (ТТ):**  
 1 — нагревательная печь; 2 — испаритель; 3 — конденсатор ТТ; 4 — ректификационная колонна; I — пар теплоносителя; II — конденсат теплоносителя; III — сырье; IV — кубовый продукт

энергии в АПТ может быть использован водяной пар низкого давления или топливный газ.

Применение АПТ обеспечивает снижение энергетических затрат более чем в 1,5 раза.

На рис. 5 приведена принципиальная схема охлаждения газа между ступенями компрессора с использованием тепловой трубы. Горячий газ после первой ступени компрессора направляется в испаритель 2 трубчатого или пластинчатого типа, где отдает тепло промежуточному теплоносителю, который кипит в трубах. Пар по тепловой трубе направляется в конденсатор 3, откуда конденсат под действием сил гравитации возвращается в испаритель, замыкая процесс теплопереноса.

На рис. 6 приведена принципиальная схема нагрева куба колонны с использованием тепловой трубы, испаритель 2 которой помещен в нагревательную печь 1, а конденсатор 3 служит для нагрева куба колонны 4. Тепловая труба может иметь протяженность в десятки метров, для ее эффективной работы необходимо обеспечить соответствующий подпор и рассчитать гидравлическое сопротивление всего тракта.

В качестве теплоносителя в зависимости от температурного уровня передачи тепла, физико-химических свойств, влияющих на транспортные характеристики, и других условий используют различные вещества: спирты, фреоны, дистиллированную воду, органические продукты, металлы и др.

Тепловая труба позволяет эффективно передать (отвести или подвести) тепло при минимальной разности температур и высоких коэффициентах теплопередачи вследствие фазовых переходов, а благодаря отсутствию насосов снижаются до минимума эксплуатационные и капитальные затраты.

Статья не дает готовых решений, цель ее — привлечь внимание специалистов и показать возможности применения для резкого сокращения энергопотребления в нефтеперерабатывающей, химической и нефтехимической промышленности технологий, относящихся к «Hi-Tech» и успешно реализованных в смежных отраслях промышленности.

*Exhaustive refining of crude oil requires large amounts of energy. To reduce energy consumption, heat pumps, chillers, and heat pipes are proposed for oil refining units. Variants of using hi-tech technologies for updating the units are examined.*

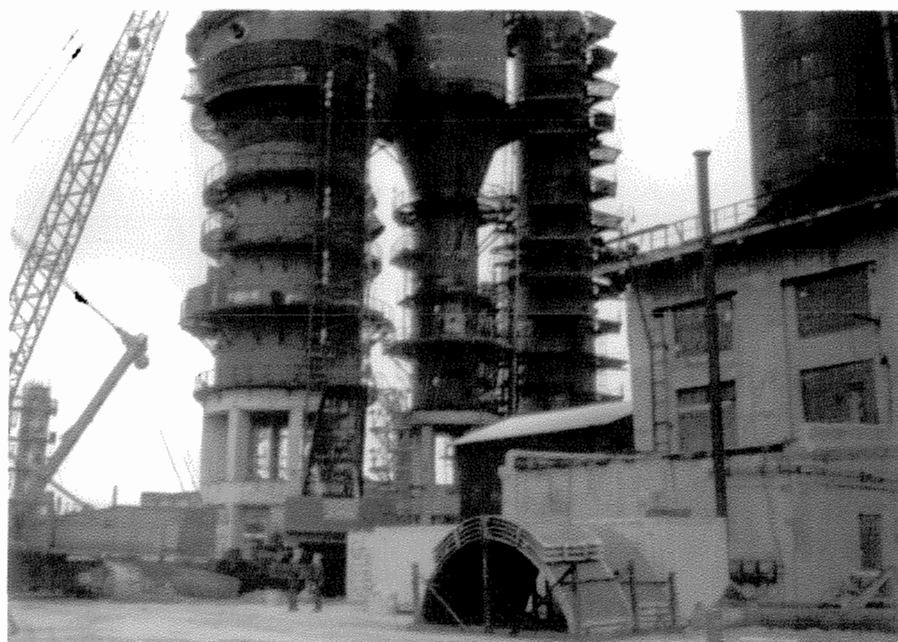
**Key words:** energy-saving technologies, heat pumps, heat pipes, screw compressors, heat recovery.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник нефтепереработчика. — М.: Химия, 1986. — С. 80–194.
2. Бараненко А.В., Тимофеевский Л.С., Дологов А.Г. и др. — Абсорбционные преобразователи теплоты. — СПб.: ГУН и ПТ, 2005. — 338 с.
3. Каталог оборудования ОАО «Пензкомпрессормаш», г. Пенза.
4. Фролов В.П., Шелгинский А.Я. — Энергосбережение. — 2004. — №6. — С. 12–15.
5. Безродный М.К., Волков С.С., Мокляк В.Ф. Двухфазные термосифоны в промышленной теплотехнике. — Киев: Вища школа, 1991. — 125 с.



#### НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ



#### РЕАКТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- РЕАКТОРЫ УСТАНОВОК Риформинга  
Гидроочистки  
Легкого гидрокрекинга  
Изомеризации
- ВЫНОСНЫЕ РЕАКЦИОННЫЕ КАМЕРЫ УСТАНОВОК ВИСБРЕКИНГА
- РЕАКТОРЫ И РЕГЕНИРАТОРЫ УСТАНОВОК КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА