

УДК 665.642.2

# СИНТЕТИЧЕСКАЯ НЕФТЬ. БЕЗОСТАТОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛЫХ РОССИЙСКИХ НЕФТЕЙ НА ПРОМЫСЛАХ

А.К. КУРОЧКИН - к.т.н., Директор проектов ООО «НПЦ «Термакат», г. Уфа

С.Л. ТОПТЫГИН - Главный технолог ООО «ИК «Нефтегазовые системы», г. Москва

*Добыча и переработка тяжелых нефтей сопряжена с большими техническими трудностями. Изменившаяся в последние годы маркетинговая ситуация на рынке нефтяного сырья и сложившийся дисбаланс цен на нефть и тяжелые нефтепродукты вынуждают специалистов-нефтяников (топ-менеджеров) искать технологически приемлемые и экономически эффективные пути разработки месторождений, трубопроводного транспортирования и глубокой переработки тяжелых нефтей. В данной статье рассматривается техническая возможность и экономическая целесообразность строительства непосредственно на промыслах малотоннажных установок по переработке тяжелых нефтей в высококачественные дорожные битумы и облегченные маловязкие синтетические нефти на основе малобюджетных аппаратурно-технологических решений.*

## АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Ожидается, что пик добычи традиционных легких нефтей будет достигнут уже через 10–15 лет, а в дальнейшем их добыча будет падать. Мировая добыча и переработка тяжелых и битуминозных нефтей станет преобладающей. Канада разрабатывает такие технологии уже более 20 лет и перерабатывает более 90 млн. тонн нефти в год битуминозных нефтей. Российские запасы тяжелых и высоковязких нефтей оцениваются в 5–7 млрд. тонн, а специализированных заводов по переработке битуминозных нефтей нет.

Стимулирование разработки Российских месторождений с тяжелыми нефтями инициируется все снижающимся количеством добываемых легких нефтей, а также общемировой динамикой повышения цен на нефть. Одновременно с поиском новых технологий извлечения высоковязких нефтей из природных недр необходимо решать и проблемные задачи разработки новых технологических решений по квалифицированной и энергоэффективной переработке тяжелых нефтей.

Чтобы российским нефтепереработчикам через 8–10 лет не остаться на обочине проблем переработки тяжелых нефтей, уже сейчас необходимы поиск и разработка рентабельных технологий промышленной переработки тяжелых высокосернистых нефтей в облегченную маловязкую синтетическую и полусинтетическую нефти. Уже сейчас необходимо решать проблемы повышения

эффективности трубной перекачки тяжелых нефтей за счет снижения вязкости, повышения товарной сортности за счет снижения ее плотности, а также углубления переработки за счет извлечения максимального количества особо ценных светлых углеводородов.

Разработки в области технологий переработки тяжелых нефтей по их переводу в облегченные маловязкие (синтетические) нефти являются весьма актуальными, насущно необходимыми, энергетически и коммерчески значимыми.

## ТЕРМИНОЛОГИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Российская классификация нефтей, подготовленных к транспортированию по магистральным нефтепроводам и наливным транспортом, разделяет нефть по плотности на пять типов: 0 – особо легкая; 1 – легкая; 2 – средняя; 3 – тяжелая; 4 – битуминозная. К тяжелым нефтям (ТН) относят нефти с плотностью более 870 кг/м<sup>3</sup>, к битуминозным нефтям (БН) – с плотностью более 895 кг/м<sup>3</sup>.

Классификация сверхтяжелых нефтей не определена. Американский нефтяной институт классифицирует тяжелые нефти по плотностям с более высокими показателями:

- тяжелые нефти (ТН): плотностью 20–14 °API (934–972 кг/м<sup>3</sup>);
- сверхтяжелые нефти (СТН): плотностью 14–10 °API (972–1000 кг/м<sup>3</sup>);
- природные битумы (ПБ): плотностью < 10 °API (> 1000 кг/м<sup>3</sup>).

В отечественной научно-исследовательской нефтяной практике до настоящего момента еще не сложилась терминология относительно квалификации и технологических манипуляций с тяжелыми нефтями. Чаще всего используется канадская терминология. Основное недоразумение вызывает само понятие «синтетическая нефть», применяемое к нефти, производимой из тяжелого нефтяного сырья, хотя в ней ничего синтетического нет. Так, к примеру, газойли коксования тяжелых или битуминозных нефтей фактически и называют синтетической нефтью. Рассмотрим терминологию более определенно.

«Облагораживание» – термин, относящийся в целом к химическим реакциям, технологическим процессам и способам понижения удельной плотности обрабатываемой нефти, путем перевода тяжелых углеводородов в облегченные дистиллятные фракции.

Термин не является ограничительным конкретным значением плотности или диапазоном значений плотностей облагораживаемой нефти.

«Синтетическая нефть» (СН) – облегченная (ОСН), маловязкая, не содержащая недистиллируемых остатков, технологически полученная в процессе(ах) облагораживания тяжелой нефти, с выделением тяжелых остатков в виде отдельной фазы. Свойства СН зависят от технологического способа их производства. Плотность синте-

тической нефти, как правило, должна классифицироваться как легкие или средние нефти, т.е. должна быть менее 850 кг/м<sup>3</sup> или менее 870 кг/м<sup>3</sup>. Недистиллируемый остаток от тяжелой нефти выводится в виде полупродукта или подвергается дальнейшей технологической переработке.

«Полусинтетическая нефть» (ПСН) – облегченная, маловязкая, содержащая недистиллируемые остатки, технологиче-

ски полученная в процессе(ах) облагораживания тяжелой нефти, без отдельного выделения тяжелых остатков, т.е. по безостаточной технологии. Чаще всего смесь дистиллятных и остаточных фракций называют ПСН.

«БСН» – битумный завод синтетической нефти, – технологический комплекс процессов облагораживания природных битумов (тяжелых нефтей) в синтетическую или полусинтетическую нефть.

«УПТН» – установка переработки тяжелой нефти, – технологический комплекс процессов облагораживания тяжелых нефтей на получение облегченной синтетической или полусинтетической нефти.

В классификации тяжелых нефтей, СН и ПСН помимо плотности целесообразно выделять и содержание в них дистиллируемых фракций, поскольку именно их потенциал определяет коммерческую ценность нефти (см. табл. 1).

**ТАБЛИЦА 1.**  
**ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БИТУМИНОЗНЫХ, СИНТЕТИЧЕСКИХ И ТРАДИЦИОННЫХ НЕФТЕЙ**

| Наименование показателей |                 | Ед. изм.          | ТН* (битуминозные) | СТН** (свежтяжелые нефти) | ПБ** (природные битумы) | ПСН   | СН    | Нефть марки Brent |
|--------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|-------|-------|-------------------|
| 1. Плотность             |                 | °API              | <26,6              | <14                       | <10                     | <27,0 | >47,0 | <38,0             |
|                          |                 | кг/м <sup>3</sup> | >895               | >972                      | >1000                   | >890  | <870  | 830               |
| 2. Содержание фракций    | НК-180°C        | % об.             | 3–15               | <2                        | <1                      | 0–30  | 18–25 | 38                |
|                          | 180–360°C       |                   | 20–35              | <20                       | 15–20                   | 10–20 | 35–50 | 30                |
|                          | 360–500°C       |                   | 25–35              | 20–30                     | 15–20                   | 15–25 | 20–45 | 20                |
|                          | остаток > 500°C |                   | 30–40              | 40–50                     | 50–60                   | 30–45 | 0     | 12                |
| 3. Содержание серы       |                 | % масс.           | <1,2               | 2,5–3,5                   | 4–5                     | <3,0  | <0,9  | <0,3              |

\* ТН – российский стандарт на битуминозную нефть

\*\* СТН и ПБ – Стандарт США

**ТИПОВЫЕ СХЕМЫ БСН**

Все построенные западные заводы по переработке битумов в синтетическую нефть (заводы БСН) базируются на комбинировании известных, традиционных для НПЗ технологиях переработки нефтяных остатков: коксование, гидрокрекинг, гидроочистка, извлечение серы, производство водорода. В последние годы появились и новые варианты схем переработки на основе процессов висбрекинга, деасфальтизации, гидрокрекинга остатков, гидроочистки газойлей и газификации тяжелого нефтяного сырья.

Типовая схема БСН на основе вторичных процессов, обеспечивающих максимальную выработку облегченных дистиллятных фракций (рис.1) без их гидрооблагораживания применима для малосернистых нефтей.

Сверхтяжелая нефть с разбавителем поступает на атмосферную перегонку, после чего нефтяной остаток возвращается к установке добычи нефти для повторного использования в качестве разбавителя. Недистиллируемый остаток (мазут) направляется на вакуумную перегонку, откуда гудрон направляется в зависимости от технологических целей на какой-либо из вторичных процессов или их комбинацию, с целью максимального исполь-

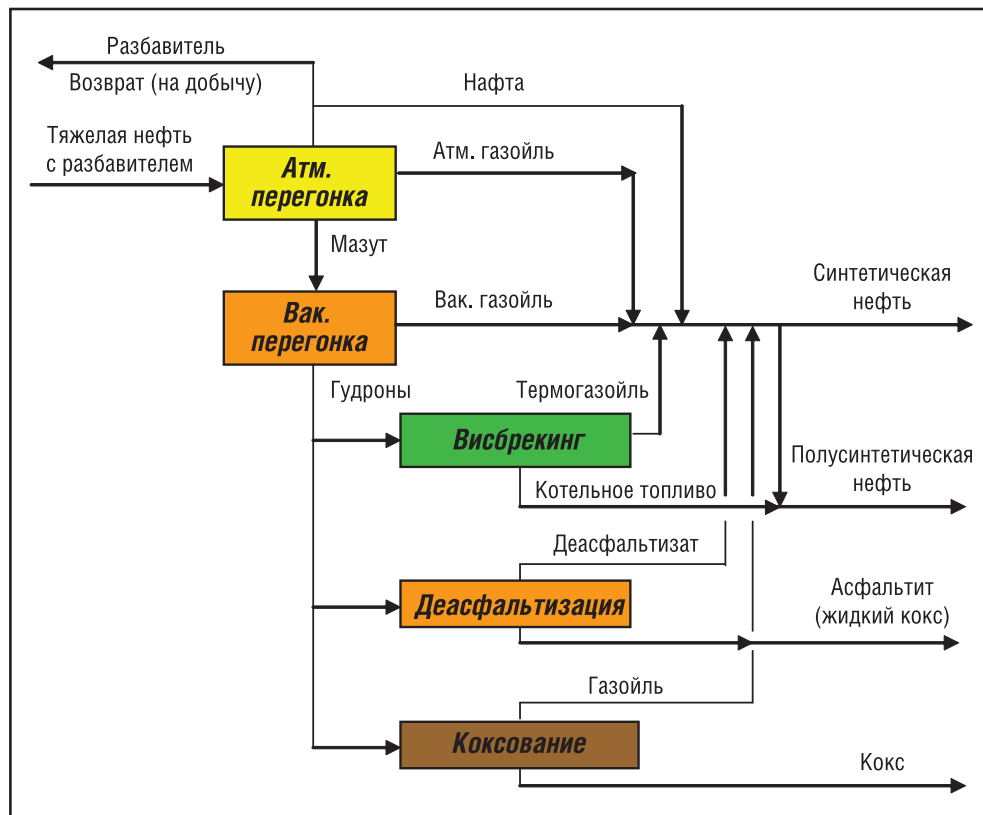


Рис. 1.  
 Типовая схема базовых технологий переработки тяжелых нефтей в синтетическую и/или полусинтетическую нефть

зования углеводородного потенциала и вывода остаточной части в виде концентрата углерода. Чаще всего для этих целей применяют процесс замедленного коксования тяжелой части нефти.

Процессы производства полноценной синтетической и полусинтетической нефтей отличаются по объемам их выхода в долях от объема исходного сырья. Доля выхода полноценной синтетической нефти находится в пределах от 50 до 80%, доля полусинтетической нефти – от 75 до 90,0%. Более низкий уровень выхода полноценной синтетической нефти объясняется удалением тяжелых нефтяных остатков из исходных битуминозных нефтей, их переработкой в водород или поставкой на сторону в виде кокса.

Полноценную высококачественную малосернистую синтетическую нефть без недистиллируемых остатков обеспечивают процессы глубокой переработки тяжелых нефтяных остатков, прежде всего коксование и гидрокрекинг в сочетании с гидроочисткой дистиллятных фракций. Остальные процессы дают полусинтетическую тяжелую сернистую нефть различного качества.

В состав заводов БСН также входят системы энерго-, водо-, воздухо- снаб-

жения, очистки дымовых газов, инженерные сети, инфраструктура, природоохранные сооружения. Газовая фаза из всех процессов очищается от сернистых соединений в аминовой установке и используется в технологии в качестве топлива.

Большое количество возможных сочетаний исходных процессов по стадиям первичного и вторичного облагораживания природных битуминозных нефтей дают возможность, в принципе, получать относительно легкие синтетические нефти, однако, если не будет гидроочистки дистиллятов то получаемые нефти будут высокосернистыми.

#### ПОИСК БАЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ УПН

Надо признать, что для российской действительности строительство заводов БСН большой удельной мощности с многомиллиардными (долларовыми) капитальными затратами в ближайшей перспективе из-за дороговизны нерентабельно. Рациональные решения необходимо искать в строительстве малых установок по переработке тяжелых нефтей в синтетическую или полусинтетическую нефть непосредственно на помывле, скорее всего в интегрирова-

нии с установками подготовки нефти (УПН).

При этом будут сняты проблемы трубной перекачки высоковязкой нефти и одновременно повышена сортность нефти. В результате промышленной переработки могут быть получены высоколиквидные и весьма востребованные нефтепродукты, такие как, к примеру, высококачественные дорожные битумы, тяжелые котельные топлива и легкие маловязкие (синтетические) нефти.

При поиске аппаратурно-технологических решений необходимо учитывать и такие специфические свойства тяжелых нефтей, как повышенное содержание смол и асфальтенов, а также высокие показатели коксуемости. Эти свойства косвенно указывают на то, что классические способы вторичной переработки тяжелых нефтяных остатков (термический крекинг, деасфальтизация и коксование) будут иметь ограниченный предел возможного максимального отбора светлых дистиллятных фракций от тяжелых нефтей.

Аналитическая оценка вторичных базовых процессов, которые можно рассматривать в составе комплексной установки получения синтетической нефти приведена в табл.2. Классические схемы

**ТАБЛИЦА 2.**  
**АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БАЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ УПН**

| № п/п | Наименование базового процесса и его мощность в тыс./год    | Предположительная стоимость, мл.USD | Положительные факторы   | Отрицательные факторы   |
|-------|---|-------------------------------------|---|---|
| 1.    | Атмосферная перегонка тяжелой нефти АП-200                  | 3,0                                 | 1) Нет необходимости в полноценной колонне  | Атмосферный газойль высокой плотности   |
|       | Заключение  | Необходима                          |   |   |
| 2.    | Вакуумная перегонка мазута, ВП-180                          | 4,0                                 |   | 1) Вакуумный газойль высокой плотности<br>2) Высокая концентрация асфальтенов в гудроне |
|       | Заключение  | Нет необходимости                   |   |   |
| 3.    | Висбрекинг мазута, Вб-180 + блок термополиконденсации (ТПК) | 5,0                                 | 1) Максимальная выработка дистиллятных фракций.<br>2) Остаток квалифицируется как дорожные битумы | 1) Висбрекинг гудрона менее эффективен вследствие большего выхода остатка               |
|       | Заклучение  | Необходим                           |   |   |
| 4.    | Деасфальтизация гудрона, ДА-160                             | 8,0                                 | 1) Асфальтит может быть направлен на производство битумов   | 1) Деасфальтизат высокой плотности<br>2) Высокая энергоемкость                          |
|       | Заклучение  | Менее эффективен, чем Вб            |   |   |
| 5.    | Коксование остатков   | 12,0                                |   | 1) Весьма дорог<br>2) Трудноутилизируемый кокс  |
| 6.    | Гидрокрекинг остатков                                       | 25,0                                |   | Для малых УПН не рентабелен   |
|       | Заклучение  | Весьма дорог                        |   |   |
| 7.    | Гидроочистка дистиллятов + производство H <sub>2</sub>      | 8,0                                 | Необходима для получения малосернистых СН   |   |
|       | Заклучение  | Необходима                          |   |   |
| 8.    | Сероочистка газов и производство S                          | 3,5                                 | Экологическая установка   |   |
|       | Заклучение  | Необходима                          |   |   |

компоновки набора технологий для переработки тяжелых битуминозных нефтей если и обеспечивают эффективное снижение плотности и вязкости СН и ПСН, то при весьма значительных капитальных затратах.

В настоящее время, применительно к высокосернистым нефтям процесс коксования становится экологически неприемлемым. Высокосернистый кокс не находит квалифицированного применения. Подвергать обессериванию такой кокс нерентабельно. Сам процесс замедленного коксования весьма энергоемок, экологически грязен и в малотоннажном варианте нерентабелен. Необходим поиск других технологий.

Для России мы рассматриваем процессы с малой капиталоемкостью. При выборе вторичного процесса мы взяли за базовый критерий оценки эффективности процесса возможность производства востребованного и качественного остаточного продукта. Особенно востребованным для России, несомненно, является высококачественный дорожный битум.

#### ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА БИТУМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

При решении задач поиска технологий переработки тяжелых нефтей целесообразно рассматривать процессы и конфигурации технологических схем, гарантирующих выработку из тяжелых ингредиентов нефти высококачественных

битумов с одновременной максимальной конверсией тяжелых углеводородных ингредиентов, не входящих в состав битумов, в среднестиллятные фракции.

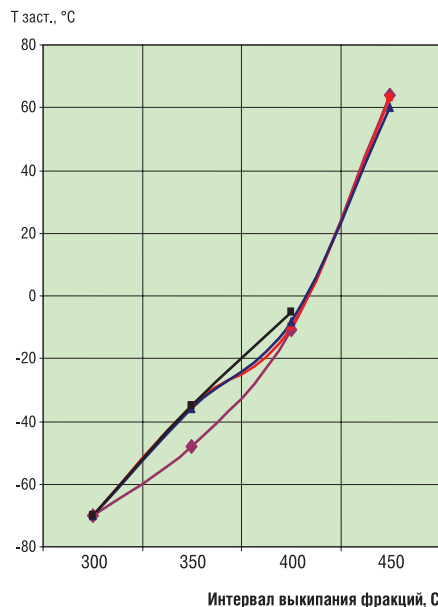
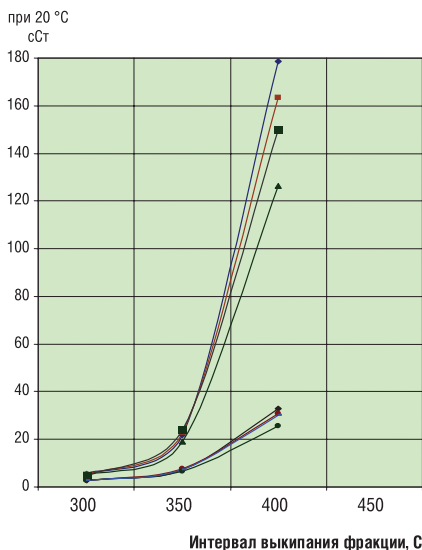
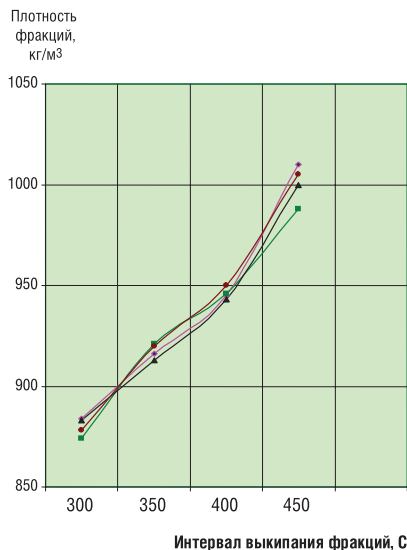
Среди «битумных» технологических процессов, пригодных к переработке тяжелых нефтей, можно рассматривать:

**Вакуумная перегонка мазута.** Процесс позиционируется как самый известный для производства гудронов и битумов. Общеизвестно, что до 80–90% гудронов, получаемых вакуумной перегонкой мазута не соответствуют по качественным показателям товарным битумам, и гудроны используют в качестве сырья для получения битумов окислением. В большинстве случаев перед окислением гудроны необходимо дополнительно подвергнуть висбрекингу с тем, чтобы снизить содержание трудноокисляемых парафиновых углеводородов в битумном сырье. Получаемые при вакуумной перегонке мазута вакуумные газойли (см. рис.2) не отвечают требованиям легких синтетических нефтей, поскольку отличаются высокой плотностью (более 900 кг/м<sup>3</sup>), высокой вязкостью, высокими температурами застывания (зачастую выше +30–40°C). Высоковязкие и, как правило, высокопарафинистые компоненты создают проблемы при трубной перекачке нефтей на НПЗ.

**Деасфальтизация гудрона.** На НПЗ пропановую деасфальтизацию чаще всего применяют в технологиях производства высокоиндексных масел. Деасфаль-

тизацию гудронов бензином используют как процесс наработки сырья для производства битумов компаундированием или окислением. Выделяемая асфальтовая фаза не всегда соответствует свойствам требуемого качества товарных битумов. Поэтому полученный асфальтит либо необходимо дополнительно окислять до битумов, либо разбавлять масляной фазой. Легкая фаза процесса деасфальтизации – деасфальтизат имеет еще более тяжелые показатели нежели вакуумный газойль: плотность > 920 кг/м<sup>3</sup>, температура застывания > 40 °С, еще более высокую вязкость, и также требует дальнейшей квалифицированной переработки. Высоковязкие деасфальтизаты проблемны для перекачки. Самый большой недостаток процесса деасфальтизации – его высокая энергоемкость, вследствие чего и капитальные затраты более чем в 2 раза выше, чем у процесса вакуумной перегонки.

**Висбрекинг мазута.** Процесс набирает вторую волну технологической востребованности. Если раньше висбрекинг использовали для снижения вязкости гудронов, то теперь для углубления переработки нефти. Все ведущие мировые фирмы (Shell, UOP, Foster Wuiller, KBR, Chiyoda и др.) разработали за последние годы по несколько оригинальных решений. Основное достоинство новых процессов в том, что они предназначены для глубокой переработки тяжелых нефтяных остатков с целью увеличения вы-



Изменение: а) плотности, б) вязкости и в) температуры застывания вакуумных отгонов тяжелой нефти от изменения интервала выкипания

Рис. 2

хода дистиллятных фракций на 40–60%. Эти процессы применимы и для глубокой переработки тяжелых нефтей, с целью перевода тяжелых углеводородов в светлые бензино-дизельные дистиллятные фракции. В указанных процессах висбрекинга отмечена возможность производства дорожных битумов.

Среди отечественных разработок заслуживает внимание процесс «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ®», обеспечивающий максимальную конверсию мазута в бензино-дизельные фракции (табл. 3). В технологии «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ®» разработчики вышли на управление процессом термополиконденсации, что позволяет получать в остатке высококачественные дорожные битумы заданных свойств. В зависимости от исходного содержания асфальтенов в нефти выход битумов может колебаться от 15 до 40%, при этом выход бензино-дизельных фракций, квалифицируемых как синтетическая нефть (СН) плотностью менее 860 кг/м<sup>3</sup>, составляет 55–80%. При отсутствии потребности в битумах производится котельное топливо и СН, а при их смешении полусинтетическая нефть (ПСН) с плотностью < 895 кг/м<sup>3</sup>. Энергозатраты на процесс сравнимы с вакуумной перегонкой мазута, которая, кстати,

в этом случае совершенно не нужна.

Висбрекинг мазута протекает мягче и глубже, нежели для гудрона, и процесс надежнее в эксплуатации – исключается закоксовывание оборудования, что в случае с гудроном является основным отрицательным фактором.

Из приведенных сравнений трех технологических процессов, как возможных вариантов использования на промыслах для переработки тяжелых нефтей с целью производства облегченных синтетических нефтей, наибольшее преимущество имеет конфигурация технологической схемы на базе технологии «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ®».

Главное достоинство: простота аппаратно-технологических решений, минимально требуемый инвестиционный бюджет на строительство установки, высокая универсальность по круглогодичному производству всегда востребованной продукции.

Процессы гидроочистки дистиллятов в совокупности с установкой по производству водорода являются дорогостоящими, однако, именно эти процессы гарантируют получение высококачественной малосернистой синтетической нефти. Для исходных малосернистых нефтей производство полусинтетической нефти,

с включением в ее состав тяжелых остаточных компонентов будет более высококорентабельным.

### БАЗОВЫЙ ПРОЦЕСС ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЕЙ

Промысловая переработка тяжелых нефтей должна быть направлена на максимальную конверсию тяжелых углеводородов в среднестиллятные фракции. Причем их плотность не должна превышать 860–870 кг/м<sup>3</sup>, так как при более высоких показателях аномально быстро возрастет вязкость, что негативно сказывается на энергозатратах при трубной перекачке. Атмосферная перегонка нефти в своем классическом виде при промышленной подготовке тяжелой нефти не нужна, так как все дистиллятные фракции впоследствии будут смешиваться для получения синтетической нефти.

На основании проведенного анализа сформирована инженерная концепция малой технологической установки облагораживания тяжелой нефти с производством около 70% полноценной синтетической нефти (без недистиллируемых остатков) и около 30% высококачественных дорожных битумов. Блок-схема УПТН на базе интегрированных технологий глубокой переработки нефти

ТАБЛИЦА 3.  
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВИСБРЕКИНГА

|               | Висбрекинг традиционный              | Висбрекинг-ТЕРМАКАТ® новая редакция   |
|---------------|--------------------------------------|---|
| Назначение    | Уменьшение вязкости гудрона          | Получение светлых топлив до 60-80% на мазут   |
| Продукты      | Газ, бензин – до 5–8%, мазут М-100   | Газ, бензин, дизтопливо, неокисленный битум   |
| Решает задачи | Повышение качества нефтяного остатка | Одностадийная переработка тяжелых фракций – в светлые, остаточных фракций – в битум |
| Эффективность | Затратный процессинг                 | Повышает рентабельность на 40–60%   |

Название старое – новое назначение: базовый процесс глубокой переработки нефти

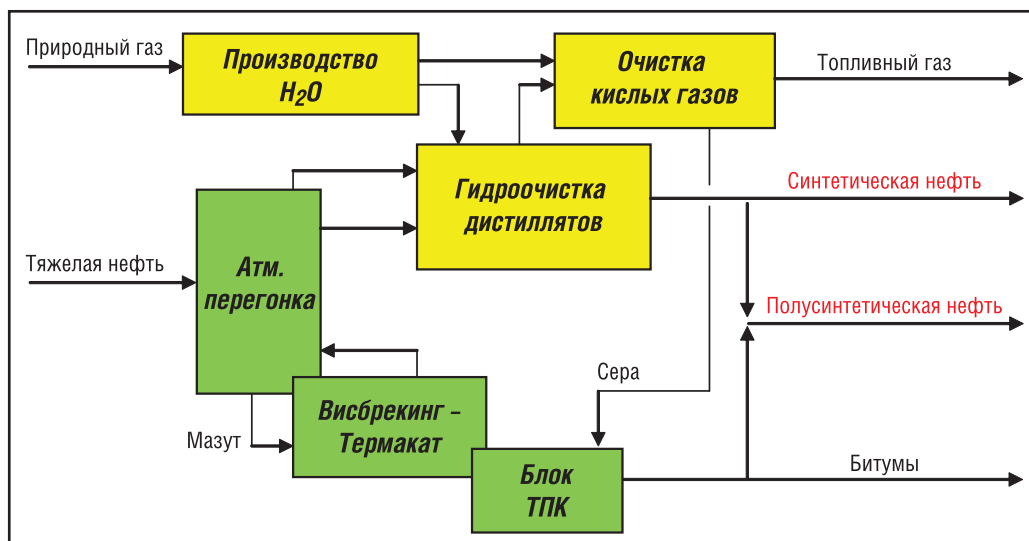


Рис. 3  
Блок-схема производства синтетической нефти



«Термакат» приведена на рис. 3. Выход бензино-дизельных дистиллятов плотностью 800–810 кг/м<sup>3</sup> составляет 75–80% от тяжелого сырья.

Тяжелая нефть поступает на интегрированный блок АП+В6 Термакат+ ТПК, откуда суммарные бензино-дизельные дистилляты направляются на гидроочистку и выводятся как малосернистая нефть с плотностью менее 810 кг/м<sup>3</sup>. Остаточный продукт ТПК по качеству (плотностью 990–1000 кг/м<sup>3</sup>) соответствует наиболее ликвидным маркам дорожных битумов. Установка очистки кислых газов необходима в плане экологической очистки топливных газов. Сера, выделяемая на этой установке, направляется на произ-

водство дорожных битумов. Водород производится из природного газа.

Вариант интегрированной атмосферной перегонки нефти совмещенной с висбрекинг – технологией мазута получил название «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ®». В его основе лежит мягкий термический крекинг в сокинг-камерах, а на ряде стадий термоллиза используются технологические методы дополнительного подвода физической энергии в виде акустической кавитации – «акустический катализ». Поэтому в литературе иногда встречается также термин «термоакустический висбрекинг» (рис. 4).

Качественный и количественный состав конечных продуктов технологии

«Висбрекинг-ТЕРМАКАТ®», как и любого термического процесса, прежде всего, зависит от структурно-группового состава исходного сырья. Проводя процесс с учетом химических и физико-химических закономерностей термических превращений углеводородов, варьируя температуру процесса, давление в зоне реакции, время пребывания сырья в реакционной зоне, меняя агрегатное состояние реакционной массы за счет рециркулирующих потоков, получают дистиллятные и остаточные продукты желаемого качества и ассортимента (табл. 4). Как уже отмечалось выше, процесс можно вести до остаточного продукта характеризующегося либо свойствами битумов, либо котельных топлив.

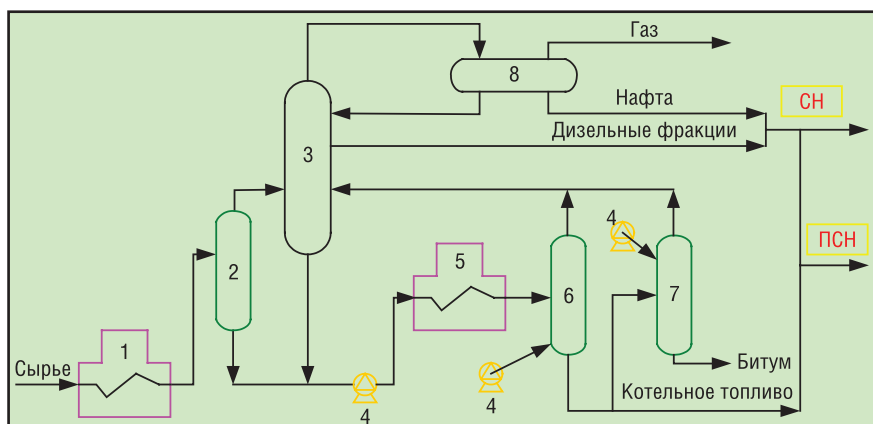


Рис. 4  
Принципиальная схема «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ®»  
1 – печь висбрекинга,  
2 – реактор-сепаратор,  
3 – атмосферная ректификационная колонна,  
4 – кавитационно-акустические насосы,  
5 – реакционная печь,  
6 – реактор термоллиза,  
7 – реактор термополиконденсации,  
8 – сепаратор

ТАБЛИЦА 4.  
ПЕРЕРАБОТКА НЕФТЕЙ ПО ПРОЦЕССУ «ВИСБРЕКИНГ-ТЕРМАКАТ®» ДО КОТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ЛИБО ДО БИТУМА

| Показатель  | Нефть       |            |             |              |         |                |
|---|-------------|------------|-------------|--------------|---------|----------------|
|   | Торавейская | Иреляхская | Ульяновская | Варандейская | Донская | Каражанбасская |
| Плотность при 15 °С, г/см <sup>3</sup>                | 0,842       | 0,861      | 0,869       | 0,897        | 0,926   | 0,942          |
| Вязкость кинематическая при 20 °С, мм <sup>2</sup> ·с | 25,7        | 19,2       | 15,5        | 28,9         | 129     | 1091           |
| Содержание серы, % масс.                              | –           | –          | 1,7         | 2,1          | 3,45    | 2,2            |
| Содержание асфальтенов, % масс.                       | 2           | 0,5÷0,8    | 4           | 5            | 9       | 6              |
| Фракционный состав: Н.К., °С                          | 69          | 64         | 58          | 51           | 50      | 85             |
| Выкипает, % об. при                                   |             |            |             |              |         |                |
| 180 °С  | 19          | 11,5       | 19          | 15,3         | 13      | 1              |
| 240 °С  | 30,5        | 21         | 31          | 26,1         | 20      | 6,5            |
| 300 °С  | 43          | 34         | 45          | 40,5         | 32      | 19,5           |
| 360 °С  | 61,5        | 46         | 53          | 60           | 44,5    | 31,0           |
| <b>Переработка до остаточного котельного топлива</b>  |             |            |             |              |         |                |
| Газ   | 5           | 3          | 3           | 3            | 3       | 4              |
| Фракция Н.К.-180 °С                                   | 15          | 17         | 27          | 20           | 11      | 14             |
| Фракция 180-360 °С                                    | 46          | 51         | 40          | 44           | 42      | 32             |
| Фракция > 360 °С                                      | 34          | 29         | 30          | 33           | 44      | 50             |
| <b>Переработка до неокисленного битума</b>            |             |            |             |              |         |                |
| Газ   | 4           | 2          | 5           | 5            | 3       | 4              |
| Фракция Н.К.-180 °С                                   | 21          | 21         | 25          | 19           | 13      | 17             |
| Фракция 180-360 °С                                    | 57          | 55         | 55          | 59           | 50      | 49             |
| Фракция > 360 °С                                      | –           | 9          | –           | –            | –       | –              |
| Битумы  | 16          | 13         | 15          | 17           | 34      | 30             |

Для интенсификации желательных направлений процесса термолитиза, и, прежде всего, реакций деструкции парафиновых углеводородов и агрегатных комплексов смолисто-асфальтеновых соединений, в технологии используются кавитационные эффекты. Кавитационно-акустическое воздействие, генерируемое гидродинамическими излучателями (кавитационно-акустическими насосами, фото 1) позволяет подводить к реакционной массе энергию в высокопотенциальном виде. Энергетический поток, компенсирующий поглощение тепла в эндотермических процессах, передается в данном случае непосредственно в жидкую среду, минуя стенку аппарата. При схлопывании микропузырьков-разрывов сплошности жидкой фазы, – вокруг и внутри них возникает локальное повышение температуры (до 5000 °С) и кратковременное повышение давления до 10 000 кгс/см<sup>2</sup> абс. Можно сказать, что каждый микропузырек на несколько наносекунд превращается в мини-реактор, где происходят деструктивные термохимические процессы. Кроме того, такое физическое воздействие вносит ощутимые изменения в гидродинамику и дисперсионную стабильность жидких сред, по-разному влияя на процессы, протекающие в реакционной среде. Заметно интенсифицируются одни процессы (деструкция) и резко замедляются другие (коксообразование).

Поток энергии, передаваемой реакционной среде за счет кинетической энергии движения стенок схлопывающихся кавитационных пузырьков, весьма велик, что позволяет в нашем варианте висбрекинга снизить температуру процесса на 50–80 °С. Термолитиз идет практически вне

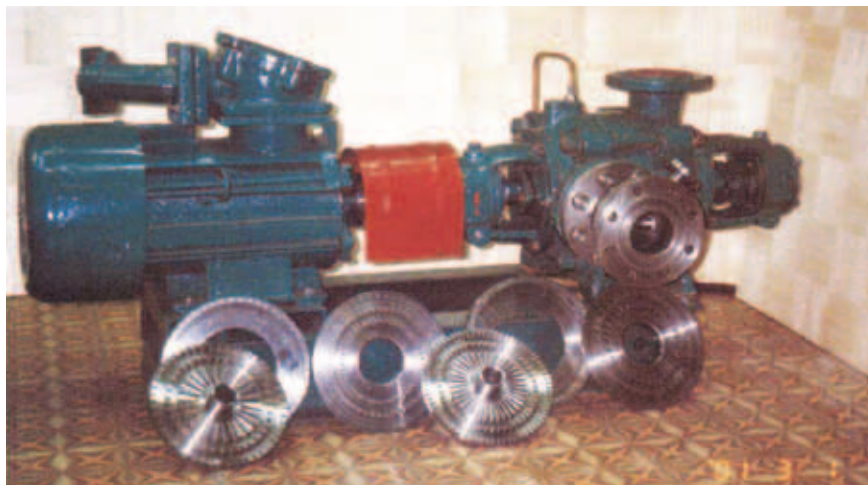


Фото 1. Кавитационно-акустический насос

области температур коксования. Агрегативная стабильность реакционной среды сохраняется даже при повышенной концентрации асфальтенов. Химический процесс может идти не минуты, а десятки минут. Результат – максимальная глубина превращения тяжелых углеводородов нефтяного сырья в светлые среднестиллятные фракции и малый выход остаточного продукта – концентрированного коллоидного раствора смол и асфальтенов – идеальной основы для производства битумов или пеков.

Углубление процесса приводит к увеличению концентрации асфальтенов и получению битума или пеков без применения технологии окисления. Свойства полученных остаточных неокисленных битумов могут регулироваться в широком диапазоне значений, что гарантирует выпуск товарных битумов заранее заданной марки (табл. 5). При производстве битумов получаемые бензино-дизельные дистиллятные фракции характеризуются

показателями, всегда соответствующими по своим свойствам дизельным фракциям. «Битумный» режим технологии всегда обеспечивает производство легкой синтетической нефти (табл. 6).

В качестве остаточного продукта на одном и том же технологическом оборудовании при изменении технологических режимов вместо битумов можно производить тяжелые котельные топлива. Основным показателем качества таких топлив, который необходимо регулировать режимом, является плотность. Высокая плотность мазута при смешении с дистиллятными фракциями (для получения синтетической нефти) может дать высокую плотность полусинтетической нефти. Остальные показатели качества котельных топлив выдерживаются автоматически.

Смешивая мазут М-100 с дистиллятными фракциями необходимо гарантировать, что полученная полусинтетическая нефть по безостаточной технологии бу-

**ТАБЛИЦА 5.**  
**ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА НЕОКИСЛЕННЫХ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ, ГАРАНТИРУЕМЫЕ ПРОЦЕССОМ «ВИСБРЕКИНГ-ТЕРМАКАТ®»**

| Показатели качества, единицы измерения   | Гарантируемые значения показателей качества | Метод испытаний          | Назначение, область применения продуктов и стандарт России |
|--|---|--------------------------|--|
| Пенетрация, 0,1 мм при температуре: 25 °С<br>0 °С, не менее                        | 40–200<br>12–40                             | ГОСТ 11501-78            | Вязкие дорожные битумы по ГОСТ 22245-90                    |
| Температура размягчения, °С по КиШ, не ниже  | 45  | ГОСТ 11506-73            |  |
| Температура хрупкости, °С не выше  | -6  | ГОСТ 11507-78            | Битумы дорожные неокисленные по ТУ 0256096-00121807-97     |
| Температура вспышки, °С, не ниже   | 220   | ГОСТ 4333-87             |  |
| Дуктильность при 25 °С, см, не менее   | >100  | ГОСТ 11505-75            | Битумы строительные по ГОСТ 6617-76                        |
| Изменение температуры размягчения после прогрева, °С, не более                     | 5   | ГОСТ 11506<br>ГОСТ 11954 | Битумы кровельные по ГОСТ 9548-74                          |
| Сцепление, по образцу №: с песком/с гранитом<br>после прогрева с песком/с гранитом | 1/1–2<br>½–3                                | ГОСТ 18180-72            | Битумы изоляционные по ГОСТ 9812-74                        |

**ТАБЛИЦА 6.**  
**СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ НЕФТЕЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ «ВИСБРЕКИНГ-ТЕРМАКАТ®»**

| № п/п | Показатели                            | «Каражанбасс» (Казахстан) |       | Тяжелая ХМАО |        |       | Блок 15 Эквадор |       | «Донское» Оренбург. обл. |       | ТОГ-нефть Татария |       |
|-------|---------------------------------------|---------------------------|-------|--------------|--------|-------|-----------------|-------|--------------------------|-------|-------------------|-------|
|       |                                       | Исх.                      | СН    | Исх.         | СН     | ПСН   | Исх.            | СН    | Исх.                     | СН    | Исх.              | СН    |
| 1     | Выход, % масс.                        |                           | 79,4  |              | 77,7   | 96,4  |                 | 59,4  |                          | 70,2  |                   | 79,2  |
| 2     | Плотность, при 20°C, кг/м³            | 940                       | 846   | 939          | 0,862  | 885   | 923             | 838   | 918                      | 859   | 906               | 0,815 |
| 3     | Вязкость кинематическая при 20°C, сСт | 1091,0                    | 14,4  | 579,2        | 3,65   | 12,4  | 424,1           | 6,3   | 129,3                    | 4,9   | 66,6              | 2,53  |
| 4     | Содержание асфальтенов, % масс.       | 6,0                       | –     | 1,0          | –      | 3,0   | 13,0            | –     | 9,0                      | –     | 3,0               | –     |
| 5     | Содержание общей серы, % масс.        | 2,4                       | 1,1   | 0,47         | –      | –     | –               | –     | 3,5                      | 1,9   | –                 | –     |
| 6     | Температура застывания, °C            | –                         | -59   | -20          | -58    | -50   | -34             | -65   | -16                      | -54   | -46               | -69   |
| 7     | Температура вспышки, °C               | 68                        | –     | 251          | –      | –     | 31              | –     | 33                       | –     | 25                | –     |
| 8     | Коксуемость по Конрадсону, % масс.    | –                         | –     | 10,9         | –      | –     | 22,2            | –     | 17,4                     | 2,1   | –                 | –     |
| 9     | Фракционный состав, % н.к.            | об.                       | об.   | масс.        | масс.  | масс. | масс.           | масс. | об.                      | об.   | масс.             | масс. |
|       | 10                                    | 85                        | 63    | 240          | 42     | 45    | 73              | 58    | 50                       | 56    | 45                | 43    |
|       | 20                                    | 265                       | 128   | 288          | 149    | 185   | 190             | 159   | 160                      | 130   | 180               | 94    |
|       | 30                                    | 303                       | 285   | 305          | 194    | 244   | 274             | 212   | 245                      | 219   | 252               | 112   |
|       | 40                                    | 352                       | 316   | 336          | 228    | 283   | 303             | 248   | 300                      | 240   | 302               | 149   |
|       | 50                                    | 406                       | 331   | 381          | 252    | 311   | 377             | 298   | 361                      | 291   | 340               | 193   |
|       | 60                                    |                           | 386   |              | 269    | 340   |                 | 371   |                          | 398   | 401               | 236   |
|       | 70                                    |                           | (98%) |              | 288    | 389   |                 | (97%) |                          | (97%) | 450               | 282   |
|       | 80                                    |                           |       |              | 304    | 431   |                 |       |                          |       | (59%)             | 288   |
|       | 90                                    |                           |       |              | 324    | 450   |                 |       |                          |       |                   | 310   |
|       | К.к.                                  |                           |       |              | 345    | (75%) |                 |       |                          |       |                   | 338   |
|       |                                       |                           |       |              | 360    |       |                 |       |                          |       |                   | 360   |
|       |                                       |                           |       |              | (95,4) |       |                 |       |                          |       |                   | (96%) |

дет характеризоваться плотностью не более 895 кг/м³. Надо признать, что это одна из наиболее тяжелых задач, которую можно осуществить по разработанной технологии. И в то же время, это может быть наиболее необходимой задачей, т.к. потребляемое количество производимых битумов на промыслах имеет предел спроса. Можно производить жидкий кокс, – его выход будет минимальным (10–15%), однако при минимальном спросе на него он может превратиться в отходы. Чтобы исключить отходы, вместо битумов производятся мазуты с меньшей плотностью. В этом случае облегченная маловязкая полусинтетическая нефть, полученная по безостаточной технологии смешением дистиллятов и мазута, становится главным продуктом, производимом на промышленной установке переработки тяжелой нефти.

На рис. 5 приведены в сравнении фракционные составы исходной нефти и облегченной полусинтетической нефти (ОПСН). Видно, что полусинтетическая нефть имеет легких фракций, выкипающих при 390 °C на 33% масс. больше, чем исходная нефть, а температура кипения фракции 390°C снижена для ПСН на 90 °C. Эти показатели характеризуют процесс «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ®» как весьма эффективный и экономически значимый.

Для одной из нефтей Татарстана, характеризующейся повышенным содержанием смол, определены балансы потенциального содержания бензиновых, дизельных и

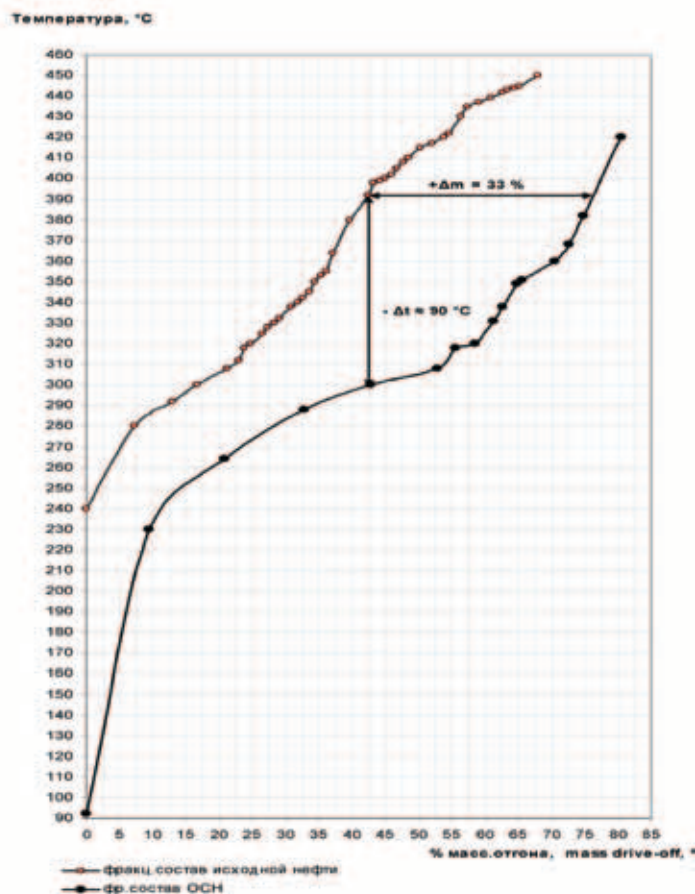


Рис. 5  
 Фракционный состав исходной и ОПСН,  
 полученной по технологии «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ®»



остаточных фракций, которые можно получить по технологии «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ®» (рис. 6). Разработанная технология позволяет снизить выход остатка более чем на 39%. За счет этого увеличивается выход бензиновых фракций на 20% и дизельных – на 17%. Надо отметить, что эти результаты гарантируют высокую экономическую эффективность при дальнейшей технологической переработке полусинтетической нефти на нефтеперерабатывающем заводе.

Базовый процесс технологии «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ®» лег в основу разработки установки переработки тяжелых нефтей.

#### УСТАНОВКА ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЕЙ

УПТН-0,2-0,8СН-0,2Б – Установка переработки тяжелой нефти мощностью 0,2 млн. т нефти в год, на производство 80% синтетической нефти и 20% дорожных битумов.

##### Сырье:

- высокосернистые нефти ( $S > 3,0$  %масс.),
- битуминозного типа ( $\rho > 930$  кг/м<sup>3</sup>),
- отгоняется до  $350^{\circ}\text{C} < 30,0$  %масс.

**Основная цель установки:** производить из тяжелой нефти высококачественные дорожные битумы и облегченную маловязкую синтетическую нефть – смесь бензиновых, дизельных и газойлевых фракций.

**Номинальная мощность установки** – 0,2 млн. т сырой нефти в год, с возможностью увеличения мощности на 50%<sup>1)</sup>.

#### КЛЮЧЕВЫЕ РЕШЕНИЯ И ПРИОРИТЕТЫ

- Выработка облегченной маловязкой синтетической нефти – 75–85%;
- Глубина переработки нефти – 75–80% (по сумме светлых: НК – 380 °С);
- Выработка дорожных битумов в 16–25%;
- Сумма выработки товарных продуктов – 96–97%;
- Базовая технология, в основе которой интегрированная схема глубокой переработки мазута («Висбрекинг-ТЕРМАКАТ®») обеспечивает оптимальное превращение тяжелых углеводородов в среднестилляные фракции, а из остаточной фазы позволяет получать поликонденсированные остатки, соответствующие высококачественным дорожным битумам;

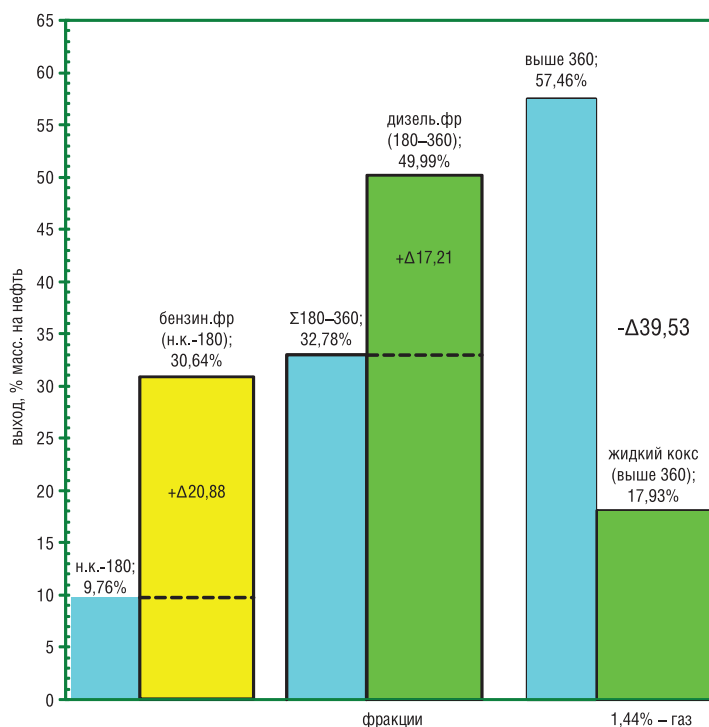


Рис. 6

Потенциальное содержание фракций в сырьевой ТОГ-нефти и выход продуктов по технологии «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ®»

- Вместо синтетической нефти и битумов, по заданию, может производиться котельное топливо Мазут-100, который в смеси с дистиллятными фракциями дает полусинтетическую нефть плотностью  $< 895$  кг/м<sup>3</sup>, выход ПСН не менее 96–97%;
- Вакуумная колонна отсутствует, вместо вакуумных газойлей производятся более легкие бензино-дизельные дистиллятные фракции – синтетическая нефть с плотностью менее 860 кг/м<sup>3</sup>;
- Во второй очереди строительства установки (по решению Заказчика) может быть предусмотрен комплекс технологического оборудования для дополнительного облагораживания облегченной синтетической нефти, на производство товарных бензинов и дизтоплив по категории качества Евро-3,4;
- Сероочистку технологических углеводородных газов целесообразно производить на существующей нефтепромышленной установке комплексной подготовки попутного нефтяного газа (высокосернистого);
- Предусмотрена автономная система энергообеспечения из производимых на

- заводе вторичных топливных ресурсов;
- Системы экологической и промышленной безопасности в соответствии с действующими в отрасли требованиями;
- Предусмотрена комплексная автоматизированная система управления технологическим процессом основного и вспомогательных производств;
- Отсутствие каких-либо твердых, жидких и газообразных отходов, кроме очищенных от серы дымовых газов технологических печей;
- Возможно комплексное интегрирование с блоком УПН.

**Технологическая концепция.** Глубокая деструкция тяжелых углеводородов нефти при переработке высоковязких нефтей на промысле обеспечивает решение поставленной задачи: одновременно производятся высококачественные дорожные битумы и в максимальном количестве облегченные бензино-дизельные фракции – суть синтетическая нефть.

Компоновочная технологическая блок-схема установки представлена единым интегрированным блоком в составе

<sup>1)</sup> Установки мощностью 50 тыс. т нефти в год и 100 тыс. т нефти в год – в разработке

технологических модулей: подготовки нефти + атмосферная перегонка нефти и дистиллятов термоллиза + блок термоллиза мазута + блок термополиконденсации остатков до товарных битумов + блок рекуперации тепла.

**Производство и товарный баланс установок** (табл. 7) представлены «летним» и «зимним» режимами, исходя из предположения, что зимой отсутствует спрос на дорожные битумы и складировать его на производстве не рентабельно. Зимой целесообразно производить мазут, а также полусинтетическую нефть.

**Качество продукции:** в соответствии с действующими нормативами ГОСТ.

- Битумы нефтяные дорожные улучшенные БДУ 100/130, БДУ 60/90;
- Синтетическая нефть (фр. НК – 380 °С) плотностью < 860 кг/м<sup>3</sup>;
- Полусинтетическая нефть плотностью < 895 кг/м<sup>3</sup>.

**Оценочная стоимость инвестиций** на строительство УПНН-0,2 сравнительно низка и ниже стоимости малых НПЗ по комплексной переработке обычных нефтей. Предварительная оценка капитальных затрат в технологию УПНН-0,2 – 320 млн. руб. Расчетная цена удорожания 1 т синтетической нефти не превысит 900–1600 руб., а сама нефть, ранее не принимаемая в трубопровод транснефти, получит статус товарной и высоколиквидной.

**Ожидаемый доход** предварительно оценивается из расчета выручки за реализацию произведенного дорожного битума без затрат на покупку сырой нефти и без выручки за реализацию синтетической нефти. 200000 твг x 30% (вых. бит.) x 9000 руб./т (цена бит.) = 540 млн.руб./год.

Оценим прибыль как 50% от валового дохода: 270 млн.руб./год.

**Срок окупаемости установки:** 1,2 года (эксплуатации).

**ТАБЛ. 7  
ПРОДУКЦИЯ И ТОВАРНЫЙ БАЛАНС УСТАНОВКИ (НА РЕЖИМАХ):**

| Продукт                             | «ЛЕТНИЙ»<br>Битум + ОСН |        | «ЗИМНИЙ»<br>Мазут + ОПСН |        |
|-------------------------------------|-------------------------|--------|--------------------------|--------|
|                                     | % масс.                 | т/сут. | % масс.                  | т/сут. |
| 1. Битум дорожный                   | 20,0                    | 120,0  | –                        | –      |
| 1а. Мазут М-100                     | –                       | –      | 30,0                     | 180,0  |
| 2. Облегченная синтетическая нефть  | 75,0                    | 450,0  | 66,0                     | 396,0  |
| 3. Полусинтетическая нефть (1а+2)*  | –                       | –      | 96,0                     | 576,0  |
| 4. Газ технологический (на топливо) | 4,0                     | 24,0   | 3,0                      | 18,0   |
| 5. Потери                           | 1,0                     | 6,0    | 1,0                      | 6,0    |

\* Полусинтетическая нефть: мазут М-100 + синтетическая нефть

**ПРЕИМУЩЕСТВА УСТАНОВКИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЕЙ УПНН-0,2**

- Современные аппаратно-технологические решения, высокая промышленная надежность и экологическая безопасность
- Высокая степень превращения тяжелых углеводородов в легкие среднестиллятные фракции с повышением сортности нефти
- Высокая универсальность и гибкость технологии по видам выпускаемой продукции (СН, ПСН, битумы, тяжелые топлива)
- Исключение проблем трубной перекачки тяжелых нефтей
- Обеспечение районов добычи высококачественными дорожными битумами, дизельными и котельными топливами
- Минимально необходимые средства на строительство установки
- Высокая прибыльность обеспечивает быструю окупаемость инвестиций

Отмеченные достоинства разработанной технологии промысловой подготовки тяжелых нефтей уже сегодня могут гарантированно обеспечить высокую эффективность добычи и переработки трудноизвлекаемых высоковязких тяжелых нефтей.



[www.s-kabel.ru](http://www.s-kabel.ru)

**СПЕЦКАБЕЛЬ**

Официальный поставщик продукции SIEMENS в области автоматизации производства

**ПОСТАВКА КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ, ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ИНДУСТРИИ**

- Кабели инструментальные, контроля и управления.
- Кабели силовые до 35 кВ.
- Кабели для промышленной автоматизации (в т.ч. для сетей RS-485; Profibus-DP; Profibus-PA; LonWorks.)
- Кабели и провода связи, волоконно-оптические.
- Кабели и провода высокочастотные и для передачи данных.
- Кабели и провода особогибкие, специальные, огнестойкие.
- Кабели комбинированные (гибридные).
- Кабели в резиновой изоляции.
- Кабельные вводы (сальники), разъемы.
- Электроустановочные материалы.

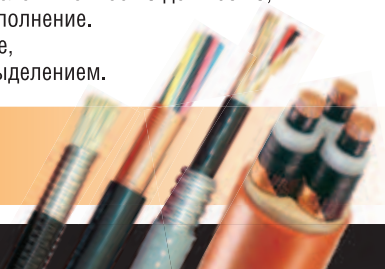
**КАБЕЛЬНАЯ ПРОДУКЦИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ:**

- |                |                |              |                    |
|----------------|----------------|--------------|--------------------|
| - SIEMENS      | - HUBER SUHNER | - SHAWFLEX   | - LEONI KERPEN     |
| - NOVKABEL     | - TOP CABLE    | - AXON CABLE | - DAETWYLER CABLES |
| - BELDEN       | - HABIA CABLE  | - BRAND REX  | - GENERAL CABLE    |
| - HELKAMA BICA | - TYCO         | - HELUKABEL  | - SAB-BROECKSKES   |
| - NKT CABLES   | - KABELTEC     | - OKONITE    | - ARISTONCAVI      |

**КАБЕЛЬ МОЖЕТ ВЫПУСКАТЬСЯ В ИСПОЛНЕНИИ:**

- Для подводной, подземной, воздушной прокладки.
- Бронированный стальной или алюминиевой лентой, проволокой.
- Для суровых климатических условий от -60 °С до +105 °С, в том числе «арктическое» исполнение.
- Не распространяющие горение, с пониженным дымо- и газовыделением.

Организуем доставку по всей территории России и СНГ.



195248, Санкт-Петербург, пр. Энергетиков, 19

Тел./факс (812) 458-5929

E-mail: info@s-kabel.ru