

**Казанский Федеральный Университет**  
**Кафедра технологии нефти, газа и углеродных материалов**  
**Kazan Federal University,**  
**Department of oil & gas technology and carbon materials**  
**Российское газовое общество**  
**Russian Gas Society**  
**Процесс каталитического висбрекинга**  
**Catalytic visbreaking process**

**Абязов Данияр Айдарович, Abyazov Daniyar Aidarovich**

**Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich**

магистр кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов  
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии нефти, газа и углеродных  
материалов, Член Экспертного совета Российского газового общества (РГО), и.о.  
руководителя группы «Водородная и альтернативная РГО, профессор РАЕ

Казань, Россия

E-mail: [kemalov@mail.ru](mailto:kemalov@mail.ru)

**Аннотация:** Цель данной работы: изучить подготовку природных газов, рассмотреть их очистку и осушку. Задачи данной работы: 1. Изучить технологический раздел; 2. Рассмотреть способы осушки; 3. Разобрать контрольно-измерительные приборы и автоматизация процесса; 4. Изучить генеральный план установки осушки газа; 5. Рассмотреть технику безопасности и охрана труда; 6. Рассмотреть раздел охраны окружающей среды; 7. Проанализировать экономический раздел.

**Abstract:** The purpose of this work: to study the preparation of natural gases, consider their purification and drying. The objectives of this work: 1. To study the technological section; 2. Consider drying methods; 3. Disassemble instrumentation and process automation; 4. Study the master plan of the gas dehydration unit; 5. Consider safety and labor protection; 6. Consider the environmental protection section; 7. Analyze the economic section.

**Ключевые слова:** глубокая переработка тяжёлых нефтяных и газоконденсатных остатков, термодеструктивное крекирование, получение алкенсодержащего углеводородного газа, светлых нефтепродуктов и котельного топлива

**Keywords:** deep processing of heavy oil and gas condensate residues, thermdestructive cracking, production of alkene-containing hydrocarbon gas, light oil products and boiler fuel

### **Введение (Introduction)**

Одним из направлений квалифицированной глубокой переработки тяжёлых нефтяных и газоконденсатных остатков (мазатов, полугудронов, гудронов и крекинг-остатков) является их термодеструктивное крекирование с получением дополнительного количества алкенсодержащего углеводородного газа, светлых нефтепродуктов и котельного топлива, имеющего температуру застывания и вязкость в соответствии с требованиями стандартов. К этим процессам термодеструктивного крекирования (или термолитической переработки) относятся висбрекинг (лёгкий термический крекинг) и термический крекинг при жёстком технологическом режиме, а также их разновидности. Процесс жёсткого термического крекинга с 1970-х гг. не имеет широкого распространения в нефтепереработке из-за производства в ходе процесса больших объёмов химически нестабильных алкенсодержащих светлых фракций низкого качества, применение которых в качестве компонентов моторных топлив требует их предварительного облагораживания. Висбрекинг распространён в настоящее время значительно шире, т. к., во-первых, имеет сравнительно небольшой выход низкокачественных светлых фракций (компонентов моторных топлив) и, во-вторых, позволяет повысить глубину переработки углеводородного сырья без необходимости добавления в производимое котельное топливо прямогонных дизельных фракций.

## Назначение, варианты, состав установки

Висбрекинг — процесс однократного термического крекинга тяжелого остаточного сырья, проводимый в мягких условиях. Типичное сырье висбрекинга — мазуты, получаемые при атмосферной перегонке нефтей, или вакуумные гудроны. Восприимчивость гудрона к висбрекингу тем выше, чем ниже температура его размягчения и чем меньше асфальтенов, нерастворимых в н-пентане.

Висбрекинг проводится для производства преимущественно жидкого котельного топлива пониженной по сравнению с сырьем вязкости (*вариант I*), либо с целью производства в повышенных количествах газойля — сырья для установок гидрокрекинга и каталитического крекинга (*вариант II*). В обоих вариантах побочными легкими продуктами являются газы и бензиновые фракции, выход которых обычно не превышает 3 и 8% (масс.) на сырье. Проведение процесса в более жестких условиях, что оценивается по выходу бензина, может приводить к нестабильности топлив, получаемых смешением остаточного продукта висбрекинга с другими компонентами тяжелого жидкого котельного топлива. Нестабильное топливо расслаивается, в нем образуется осадок.

При проведении висбрекинга по *варианту I* характерно следующее:

- сохранение в составе остаточного продукта (называемого ниже висбрекинг-мазутом) всех жидких фракций, кроме бензиновых;
- высокий выход висбрекинг-мазута (90—93% масс, на сырье);
- более низкие по сравнению с сырьем вязкость, температуры начала кипения и застывания висбрекинг-мазута;
- простота и гибкость технологической схемы установки, позволяющие перерабатывать остаточное сырье разного качества.

В результате висбрекинга гудронов значительно сокращается расход маловязкого дистиллятного разбавителя при приготовлении котельного топлива. Содержание тяжелых бензиновых фракций в остаточном продукте висбрекинга ограничивают, учитывая необходимость получения топлива с

достаточно высокой температурой вспышки.

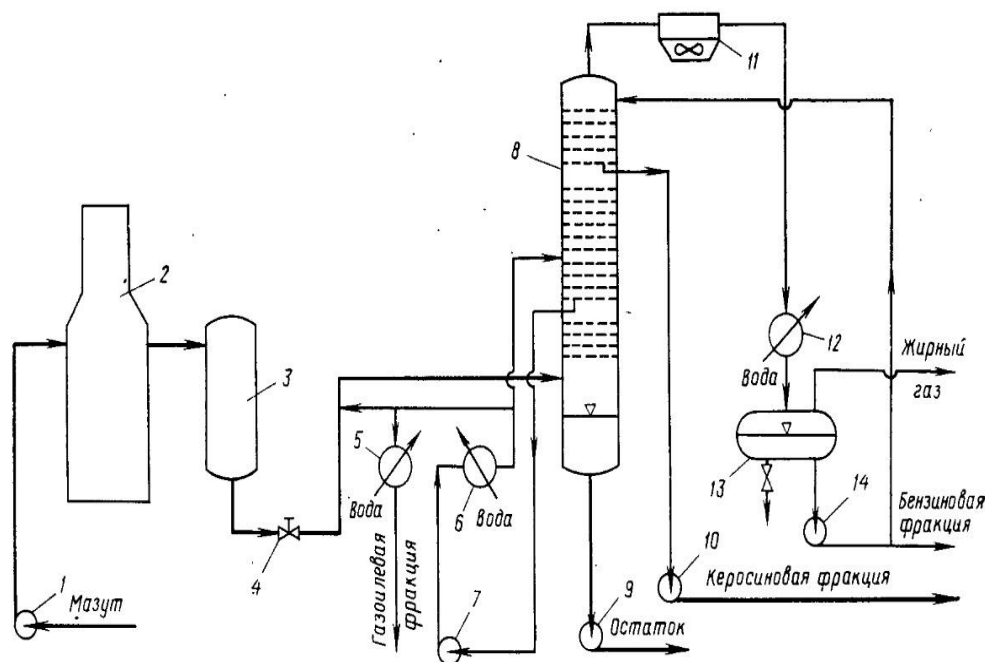
При проведении висбрекинга по *варианту II* установка дополняется вакуумной секцией, предназначенной для выделения из висбрекинг-мазута вакуумного газойля. В результате процесса потенциальное содержание вакуумного газойля в сырье повышается на 25—40% (об.).

На некоторых заводах часть тяжелого остатка, получаемого по *варианту II* и являющегося нижним продуктом вакуумной колонны, используется как топливо на самих заводах, а избыток после разбавления маловязким продуктом, например, каталитическим газойлем, направляется в резервуар товарного мазута нормированной вязкости.

Установка висбрекинга может входить как секция в состав комбинированной установки, например, атмосферная перегонка нефти→висбрекинг атмосферного мазута→вакуумная перегонка→висбрекинг -мазута для выделения газойлевых фракций или висбрекинг атмосферного мазута→выделение газойлей (в частности, под вакуумом) →термический крекинг смеси газойлей с целью увеличения выхода керосиновой фракции. Возможны также варианты установок висбрекинга: на одних нагретое сырье по выходе из печи направляется в необогреваемый реактор, где в основном и осуществляется неглубокий термокрекинг; на других — нагретое сырье подвергается висбрекингу в обогреваемом змеевике (сокинг-секция), расположенном во второй топочной камере трубчатой печи.

Для висбрекинга гудронов условия процесса такие: температура 460—500°C; давление 1,4—3,5 МПа. Длительность пребывания сырья в зоне реакции определяется с помощью уравнения скорости реакции первого порядка. Требуемый объем реакционной зоны, т. е. того участка змеевика, где температура сырья превышает 399°C, составляет 3,6—4,8 м<sup>3</sup> на каждые 1000 м<sup>3</sup> перерабатываемого жидкого сырья в сутки.

## Висбрекинг-установка с реакционной камерой



Технологическая схема висбрекинг-установки с реакционной камерой:  
 1, 7, 9, 10, 14 — насосы; 2 — трубчатая печь; 3 реактор; 4 — редукционный клапан;  
 5 — холодильник; 6 — теплообменник; 8 — фракционирующая колонна;  
 11 — аппарат воздушного охлаждения; 12 — водяной холодильник; 13 — сепаратор.

Рисунок 1 - Висбрекинг-установка с реакционной камерой

Горячий мазут, поступающий с нефтеперегонной установки, подается насосом 1 в змеевик печи 2. По выходе из печи сырье подвергается висбрекингу в реакционной камере 3 (реакторе), работающей при давлении около 1,7 МПа. Полученная смесь продуктов, пройдя редукционный клапан 4, направляется далее в фракционирующую колонну 8. До входа в колонну смесь охлаждается за счет подачи в линию холодного газойля, нагнетаемого насосом 7, через теплообменник 6. Остальная часть охлажденного газойля (рециркулят) возвращается этим же насосом в среднюю зону колонны 8. Балансовое количество газойля отводится с установки через холодильник 5.

Для конденсации бензиновых паров и охлаждения газов, выходящих из колонны 8 сверху, служит аппарат воздушного охлаждения 11. После него смесь проходит водяной холодильник 12.

В горизонтальном сепараторе 13 (он же сборник орошения) жирные газы отделяются от нестабильного бензина. Часть бензина подается насосом 14 на верхнюю тарелку колонны в качестве орошения; остальное количество

отводится с установки.

Легкая керосиновая фракция отбирается из колонны с промежуточной тарелки и насосом 10 выводится с установки. На некоторых установках эта фракция предварительно продувается водяным паром в выносной отпарной колонне.

Описанная установка является частью комбинированной установки, и с низа колонны 8 остаток — утяжеленный висбрекинг-мазут — направляется насосом 9 в вакуумную ступень.

## **Классификация методов интенсификации**

Совершенствованию технологии и техники процесса висбрекинга и методам интенсификации и повышения его эффективности в современных условиях уделяется весьма большое внимание. В целом методы интенсификации и повышения эффективности процесса висбрекинга можно условно разделить на четыре группы.

*1. Технологические методы, которые уже применяются или могут применяться в перспективе на промышленных установках висбрекинга. К ним, в частности, относятся следующие методы.*

1. Проведение процесса в реакционном змеевике трубчатой печи или в выносном реакторе. Реакционный змеевик позволяет обеспечить высокую гибкость (регулировку) подвода теплоты, лёгкость удаления кокса из труб печи паровоздушным способом и получение котельного топлива стабильного качества.

Выносной реактор позволяет работать с потоком, имеющим более низкую температуру на выходе из печи, и тем самым экономить 30–35 % печного топлива и 10–15 % капитальных затрат при одновременном уменьшении размеров и тепловой мощности печи, оборудования для утилизации тепла дымовых газов и гидравлического сопротивления змеевика печи. Одновременно с этим увеличиваются селективность и глубина процесса, снижается закоксовывание змеевика печи и увеличивается межремонтный пробег установки (до одного года). Основными недостатками разновидности висбрекинга с выносным реактором являются сложность и высокая стоимость очистки змеевика печи и камеры от

коксовых отложений, а также наблюдающееся обратное перемешивание жидкого продукта из-за значительного отклонения от режима идеального вытеснения и, как следствие, его «перекрекирование» и понижение стабильности получаемого котельного топлива.

2. Использование редуцирующего (дроссельного) клапана или вентиля между реактором (реакционным змеевиком) и последующей сепарационно-фракционирующей аппаратурой для обеспечения регулируемого перепада давления между ними. Этот простой в реализации технологический метод позволяет снизить пенообразование без подачи антипенной присадки и легко регулировать качество получаемых газойлевых фракций.

3. Получение при висбрекинге газа, бензиновой фракции, выкипающей при температуре ниже 160 °С, лёгкого (фракция 160–300÷350 °С) и тяжёлого (фракция 300÷350–540÷550 °С) газойлей и остатка (фракция, выкипающая при температуре выше 540÷550 °С), смешение лёгкого газойля с остатком в соотношении 10–50:50–90 % для образования котельного топлива требуемой вязкости и смешение оставшегося лёгкого газойля и тяжёлого газойля для последующей глубокой переработки этой смеси в моторные топлива в ходе вторичных каталитических процессов. Газ и бензиновую фракцию выделяют из продуктов висбрекинга в атмосферной колонне, а лёгкий и тяжёлый газойли и остаток – в вакуумной колонне. При осуществлении метода можно корректировать пределы кипения и выход фракций в зависимости от природы исходного сырья и заданной вязкости котельного топлива. Эта технология, названная технологией висбрекинга с дискретной вакуумной перегонкой, позволяет упростить технологию процесса, снизить выход традиционного котельного топлива на 30–35 % масс. и, соответственно, на такое же количество расширить ресурсы сырья для производства моторных топлив.

4. Тангенциальный ввод нагретого сырья из печи в реактор, работающий под давлением, и в точку выше уровня жидкой фазы в нём, который составляет 50–75 % высоты этого реактора. Газопаровую и жидкую фазы (с верха и низа реактора соответственно) направляют на разделение в ректификационную колонну. Высоту уровня жидкой фазы в реакторе устанавливают путем

регулирования вывода жидкой фазы, давление – путем регулирования вывода газопаровой фазы. Метод позволяет осуществлять управление режимом работы реактора и получение продуктов заданного качества из углеводородных остатков, а также повысить уровень безопасности процесса.

5. Проведение процесса висбрекинга, имеющего невысокую степень конверсии, в жидкой фазе или в двухфазном состоянии с наличием паровой (газ, бензин) и жидкой (газойль, крекинг остаток) фаз. Это достигается варьированием температуры и давления процесса: температура определяет скорость протекания процесса крекинга, а давление – объём паров и время пребывания сырья в зоне реакции.

6. Комбинирование установок висбрекинга и термического крекинга, которое применяют в тех случаях, когда необходимо увеличить ресурсы вырабатываемых средних дистиллятов, например компонента дизельного топлива. При комбинировании вакуумные дистилляты либо полностью рециркулируют в процесс, либо направляют на каталитический крекинг.

7. Система квенчинга, выбор которой должен быть рациональным для каждой конкретной установки висбрекинга, а именно: газойлевый квенчинг, квенчинг остатком или квенчинг по технологии Вуда: – газойлевый квенчинг позволяет иметь пониженное коксообразование, обеспечить пониженное содержание механических примесей в продуктах висбрекинга и быстрое достижение температурного равновесия, но при этом получают повышенные нагрузки по парам и жидкости в зоне ввода сырья в колонну, в промывной секции и контуре циркуляционного орошения и дополнительно смешиваются потоки;

– квенчинг остатком позволяет также понизить коксообразование в реакционном оборудовании и создаёт возможность дополнительной утилизации теплоты на установке на более высоком температурном уровне, но приводит к обрастанию фракционирующей колонны коксовыми отложениями, создаёт высокие нагрузки в контуре квенчинга, и в продуктах висбрекинга увеличивается количество механических примесей;



– квенчинг по технологии Вуда (мгновенное охлаждение реакционной смеси при печном змеевиковом висбрекинге) устраняет необходимость использования дополнительной вакуумной колонны и приводит к сокращению производства котельного топлива на 10–15 %. Однако при этом увеличивается выход тяжёлого газойля висбрекинга, который требует гидроочистки, и получаемое котельное топливо не соответствует требованиям стандартов, вследствие чего необходимо его разбавление лёгким и (или) тяжёлым газойлем каталитического крекинга.

8. Использование турбулизаторов (водяного пара, бензиновой или газойлевой фракций), подаваемых обычно в поток сырья, в основном для снижения коксообразования:

– водяной пар приводит к уменьшению коксообразования, снижению выхода газа и крекинг остатка, обеспечивает высокий выход дистиллятных продуктов (до 50–70 % на исходное сырьё), уменьшает объём подаваемой жидкости, но усиливает коррозию конденсационно - холодильного оборудования и верха ректификационной колонны, приводит к повышенному расходу нейтрализующих агентов и ингибиторов коррозии и дополнительным затратам на очистку загрязнённого водяного конденсата;

– бензиновая турбулизация также приводит к уменьшению коксообразования, возможности ужесточения режима, более полному парообразованию, отсутствию повышенной коррозии конденсационно-холодильного оборудования, отсутствию необходимости очистки сульфидных стоков, но и к перегрузке парами турбулизатора ректификационной колонны и конденсационно - холодильного оборудования;

– газойлевая турбулизация снижает коксообразование в печи и выносном реакторе и, как следствие этого, увеличивает время межремонтного пробега установки, снижает реакционную способность асфальтенов и даёт возможность вытеснения тяжёлого продукта из печи и реактора при аварийной остановке печного насоса, но возникает необходимость подачи больших количеств жидкости и отмечается неполное парообразование по длине змеевика трубчатой печи.

*II. Методы, характерные только для технологической разновидности процесса с выносным реактором.* Их главным отличительным признаком является конструктивное устройство этого реактора. В этой группе различают следующие конструкции выносного реактора:

1. Реактор с восходящим потоком крекируемого сырья, который позволяет значительно увеличить время пребывания жидкой фазы в зоне реакции и степень превращения, но одновременно с этим увеличивается степень закоксовывания реактора и уменьшается межремонтный пробег установки. Эти реакторы рекомендуется использовать при висбрекинге сравнительно лёгкого сырья с малым содержанием смол, асфальтенов и других коксообразующих компонентов (например, дистилляты и мазуты, а также газоконденсатные гудроны). Требуемая конверсия сырья в реакторе с восходящим потоком достигается при более низких значениях температуры и большем времени пребывания сырья, чем при использовании нисходящего потока.

2. Реактор с нисходящим потоком крекируемого сырья, который позволяют достичь прямо противоположного результата висбрекинга по сравнению с результатом при использовании восходящего потока сырья.

Эти реакторы предпочтительнее использовать при переработке тяжёлых углеводородных остатков.

3. Реактор змеевикового типа, представляющий собой три вертикальных полых цилиндра диаметром 900 мм и высотой 14 м, последовательно связанных между собой. Режим в этом реакторе близок к режиму идеального вытеснения. Процесс висбрекинга имеет высокую эффективность и низкое коксообразование, но конструкция реактора достаточно громоздка.

4. Двухступенчатый реактор, состоящий из двух последовательно расположенных реакционных зон. Для проведения реакций крекинга в этом реакторе используется трёхступенчатый комбинированный способ подвода теплоты к сырью. Для подвода первой части энергии углеводородное сырьё (тяжёлый углеводородный остаток) нагревается в трубчатой печи до температуры, находящейся в диапазоне на 30 °С ниже и на 15 °С выше температуры начала термической деструкции сырья при давлении процесса.

Для предотвращения нежелательного на этом этапе термического крекинга углеводородного сырья и образования коксовых отложений в сырьё добавляют некоторое количество воды в пределах до 15 % масс. в расчёте на подаваемое углеводородное сырьё.

Для подвода второй части энергии генерируется перегретый водяной пар с температурой от 500 до 800 °С, который вместе нагретым углеводородным сырьём вводят в первую реакционную зону реактора. Углеводородное сырьё вводят в эту зону через множество каналов, а перегретый водяной пар подается в неё через один или несколько других каналов. Взаимное расположение каналов для углеводородного сырья и каналов для водяного пара в первой реакционной зоне выполнено так, что поток перегретого водяного пара пересекается с потоками сырья под прямым углом или близким к нему. Это обеспечивает такое взаимодействие потоков углеводородного сырья и перегретого водяного пара, при котором происходит интенсивное перемешивание этих потоков и, соответственно, интенсивный теплообмен и их механическое взаимодействие со значительными сдвиговыми усилиями. При механическом взаимодействии потоков третья часть энергии передается от водяного пара к углеводородному сырью в виде кинетической энергии. Предпочтительное среднее время пребывания реакционной смеси в первой реакционной зоне составляет менее 0,1 с, что обеспечивает низкое газообразование и коксообразование.

Во второй реакционной зоне происходит обрыв цепи реакций и стабилизация продуктов, что резко снижает образование углеводородов с низкой молекулярной массой, и, соответственно, снижается образование газовой фазы. Объём второй реакционной зоны больше объёма первой реакционной зоны минимум в 5 раз. При истечении реакционной смеси из первой реакционной зоны во вторую происходит адиабатическое расширение потока. Поток тратит часть своей энергии на работу расширения, что ведёт к снижению внутренней энергии и температуры, в результате чего во второй реакционной зоне устанавливаются более низкое давление и более низкая температура реакционной смеси.

Для увеличения единичной производительности двухступенчатый реактор может содержать несколько первых реакционных зон. В целом в подобном реакторе происходит практически мгновенный нагрев углеводородного сырья до температуры достаточной для осуществления реакций крекинга и практически мгновенное прекращение реакций из-за использования второй реакционной зоны большего объёма. В таком реакторе обеспечивается высокая степень конверсии сырья при минимальных газообразовании и потерях.

Во второй классификационной группе для реакторов с восходящим потоком крекируемого сырья можно выделить две подгруппы их конструкций:

- одноходовые (для реакционной массы) реакторы;
- многоходовые (для реакционной массы) реакторы, которые более компактны по сравнению с одноходовыми аппаратами и имеют конструкцию, которая, за счёт разделения объёма реактора на однородные по сечению зоны, обеспечивает режим идеального вытеснения, равновеликие скорости движения реакционной массы по всему аппарату, отсутствие застойных зон и постоянство времени пребывания реакционной массы в аппарате.

*III. Химические методы, предусматривающие использование различных активирующих и иницирующих добавок и реагентов к сырью процесса.*

К ним относятся:

1. Проведение процесса в среде водорода без внесения катализатора со стороны (гидровисбрекинг), что позволяет уменьшить содержание общей серы в конечных продуктах, снизить вязкость остатка, обеспечить повышенный выход газа и бензина, замедлить скорости вторичных реакций уплотнения и, как следствие этого, добиться большей глубины деструкции сырья и сокращения выработки котельного топлива (около 60 % на исходный гудрон).

2. Использование веществ-доноров атомов водорода, например лёгкого газойля каталитического крекинга (донорный висбрекинг или донорно-сольвентный висбрекинг), которые позволяют уменьшить коксообразование, повысить качество получаемых дистиллятов, увеличить глубину переработки сырья и использовать типовое оборудование существующих установок

термического крекинга при обычных режимах проведения крекинга. Однако при этом необходим сравнительно высокий расход рециркулирующего донора по отношению к свежему сырью (от 20 до 100 %).

3. Ввод в сырьё моно- и бициклических ароматических углеводородных присадок для снижения вязкости крекинг-остатка, снижения коксообразования и вымывания ранее отложившегося кокса.

4. Ввод в сырьё в качестве промоторов процесса (углеводородов ряда нафталина, органосилоксанов, метилполисилоксана (0,25–3,00 % масс.), концентрата сернисто-щелочных стоков, 3 %-ной водной эмульсии мазута с добавлением поверхностно-активных присадок или без них), что также позволяет уменьшить коксообразование при увеличении выхода бензиновой фракции, но приводит к коррозии оборудования, в том числе из низколегированных сталей.

5. Добавка к сырью полярных соединений, в частности ацетона в количестве 0,001–0,050 %. Позволяет стабилизировать вязкость остатка висбрекинга и снизить его выход.

6. Использование кислородсодержащих промоторов процесса, что позволяет увеличить выход бензина в 1,1–1,6 раза и снизить вязкость остатка в 2 раза по сравнению с непромотированным висбрекингом.

7. Добавка в сырьё специальных реагентов (антикоксообразователей, антикоксоосадителей, антивспенивателей, ингибиторов коррозии и нейтрализаторов) для более длительной и бесперебойной эксплуатации установки даже при повышенной жёсткости режима без коксоотложения с получением стабильного крекинг-остатка, отсутствием пенообразования и защитой от коррозии конденсационно-холодильного оборудования фракционирующей колонны.

IV. Физические методы, в которых используются различные физические поля. К ним относятся:

1. Обработка сырья перед подачей в реакционную зону ультразвуком, которая позволяет снизить коксообразование и содержание парафинафтеновых углеводородов, увеличить содержание асфальтенов и дистиллятных фракций: выкипающих при температуре до 350 °С – до 10 %,

выкипающих при температуре до 500 °С – до 14 %.

2. Воздействие на сырьё висбрекинга электромагнитным полем (например, мощностью 0,2–0,5 кВт и частотой 40–55 МГц) для уменьшения коксообразования, увеличения выхода светлых продуктов, снижения энергозатрат на проведение процесса висбрекинга, повышение гомогенности нефтяной системы.

3. Кавитационное воздействие на сырьё, в частности на гудрон, полученный вакуумной перегонкой мазута, после чего в гудрон вводят добавки (экстракты селективной очистки масел или газойли каталитического крекинга, взятые в количестве 2–8 % масс., или полярные соединения (например, ацетон), взятые в количестве 0,001–0,05 % масс.). Метод позволяет эффективно снизить вязкость, разрушить асфальтеновые ассоциаты, препятствует протеканию вторичной ассоциации разрушенных асфальтеновых структур.

4. Подвод в реактор висбрекинга энергии сверхвысокой частоты для уменьшения коксообразования, увеличения выхода дистиллятных фракций на 3,4–7,4 % масс., улучшения качества жидких продуктов висбрекинга за счёт снижения содержания механических примесей).

5. Воздействие на сырьё электрического поля напряженностью 0,5–1000,0 В/мм перед его подачей на первую ступень двухступенчатого висбрекинга. В результате такого воздействия уменьшаются отложения кокса, процесс проходит при более низкой температуре, уменьшается перегрев пристенной пленки жидкого углеводородного сырья, достигаются экономия топлива, низкие значения скорости коррозии, науглероживания и износа печных труб, увеличивается срок службы и длительность межремонтного периода эксплуатации установки.

**Зависимость выходов углеводородных фракций в процессе висбрекинга гудронов от времени при различных значениях температуры и химическом составе сырья**

Таблица 1 Групповой углеводородный состав сырья висбрекинга и температура процесса

Сырье	Групповой углеводородный состав, мас. %	Температура, °С
№ 1	Алканы и нафтены – 10,30 Ароматические углеводороды – 58,65 Соединения с гетероатомами – 29,20 Асфальтены – 1,85	400–430
№ 2	Алканы и нафтены – 32,89 Ароматические углеводороды – 59,85 Соединения с гетероатомами – 4,23 Асфальтены – 3,03	400–430
№ 3	Алканы и нафтены – 14,41 Ароматические углеводороды – 66,47 Соединения с гетероатомами – 11,58 Асфальтены – 7,54	400–430
№ 4	Алканы и нафтены – 5,88 Ароматические углеводороды – 71,12 Соединения с гетероатомами – 12,40 Асфальтены – 10,60	410–430

Таблица 2. Выходы продуктов висбрекинга гудронов

Сырье	Температура, °С	Время, мин	Выход фракции, мас.%			
			газ	бензин	лёгкий газойль	тяжёлый газойль
№ 1	400	3	0,432	0,003	2,000	4,675
		6	0,599	0,338	3,934	6,507
		9	0,853	0,648	5,588	6,213
		12	1,086	0,783	6,759	7,153
		15	1,441	1,806	11,017	11,788
	410	3	0,383	0,734	4,662	1,572
		6	0,754	0,952	5,719	1,799
		9	1,115	1,682	9,689	4,821
		12	2,163	2,008	11,593	7,997
		15	3,308	3,079	15,956	6,575
	420	3	1,070	1,083	6,472	3,023
		6	1,905	1,711	9,374	5,931
		9	2,481	2,553	12,629	5,962
		12	2,857	2,925	13,761	7,175
		15	3,974	3,804	17,494	7,753

Таблица 2 (продолжение)

Сырье	Температура, °С	Время, мин	Выход фракции, мас.%			
			газ	бензин	лёгкий газойль	тяжёлый газойль
№ 1	430	3	1,056	1,277	7,057	4,453
		6	2,099	2,298	11,949	9,436
		9	3,437	3,566	16,116	6,602
		12	5,462	4,542	20,827	8,330
		15	6,150	4,673	21,933	9,113
№ 2	400	3	0,188	0,120	2,177	9,459
		6	0,310	0,042	2,177	11,479
		9	0,366	0,253	3,232	12,264
		12	0,408	0,380	4,411	14,004
		15	0,620	0,809	6,529	15,559
	410	3	0,319	0,246	2,302	7,076
		6	0,454	0,377	2,857	8,519
		9	0,731	0,608	5,619	12,360
		12	1,108	1,114	8,506	11,703
		15	1,940	1,685	11,940	14,430
	420	3	0,515	0,597	3,580	9,174
		6	0,784	0,869	5,929	7,412
		9	1,434	1,433	9,941	9,557
		12	3,566	3,467	18,451	8,644
		15	3,738	3,125	18,381	16,521
430	3	1,056	1,277	7,057	4,453	
	6	2,099	2,298	11,949	9,436	
	9	3,437	3,566	16,116	6,602	
	12	5,462	4,542	20,827	8,330	
	15	6,150	4,673	21,933	9,113	
№ 3	400	3	0,377	0,054	1,693	3,517
		6	0,709	0,131	3,130	4,701
		9	0,886	0,306	4,494	5,540
		12	0,985	0,202	4,463	5,852
		15	1,761	0,797	8,823	9,787
	410	3	0,554	0,107	2,914	4,303
		6	0,897	0,202	4,337	5,752
		9	1,164	0,510	6,515	6,666
		12	1,951	0,746	8,941	10,006
		15	2,328	1,043	10,694	7,757



Таблица 2 (окончание)

Сырье	Температура, °С	Время, мин	Выход фракции, мас. %			
			газ	бензин	лёгкий газойль	тяжёлый газойль
№ 3	420	3	1,196	0,513	5,722	5,891
		6	1,352	0,710	7,872	7,469
		9	2,328	1,281	11,987	11,112
		12	2,870	1,561	13,332	11,577
		15	3,311	1,844	15,332	13,189
	430	3	2,028	1,198	9,261	8,122
		6	2,793	1,744	14,444	9,732
		9	3,746	2,387	16,730	10,652
	№ 4	410	6	0,763	0,283	3,819
9			1,119	0,494	5,332	7,320
12			1,553	0,945	7,523	9,247
15			2,073	1,237	8,804	9,465
420		3	0,798	0,255	3,418	5,257
		6	1,131	0,718	5,875	7,916
		9	3,664	1,854	13,200	12,884
		12	2,793	1,437	11,414	12,142
		15	3,680	1,976	13,937	13,321
430		3	1,285	0,596	5,849	7,686
		6	2,882	1,724	11,349	11,724
		9	4,755	2,175	15,505	13,344
		12	7,215	3,183	18,925	12,224

Таблица 3. Равновесные составы продуктов висбрекинга гудрона

Продукт	Число атомов углерода в n-алкане – модельном соединении	Выход фракции, мас. %			
		400 °С	410 °С	420 °С	430 °С
Газ	3	6,493	6,491	6,489	6,487
Бензин	9	16,048	16,043	16,038	16,033
Лёгкий газойль	17	23,429	23,428	23,427	23,427
Вакуумный газойль	21	25,772	25,772	25,772	25,772
Гудрон	36	28,258	28,266	28,274	28,281

## Установка висбрекинга на НПЗ ОАО «Танеко»

Введение в эксплуатацию в феврале 2012 г. установки висбрекинга гудрона, получаемого на головной установке ЭЛОУ-АВТ-7 НПЗ ОАО «ТАНЕКО», позволило заводу достигнуть глубины переработки нефти — 72%.

Проектирование установки висбрекинга было выполнено институтом ГУП «ИНХП РБ», который сам же разработал на лицензионной основе базовый проект технологии, обеспечивающей достижение оптимальной глубины термической конверсии высоковязких вакуумных остатков девонской и карбоновой нефтей РТ с получением в итоге котельного топлива марки М-100.

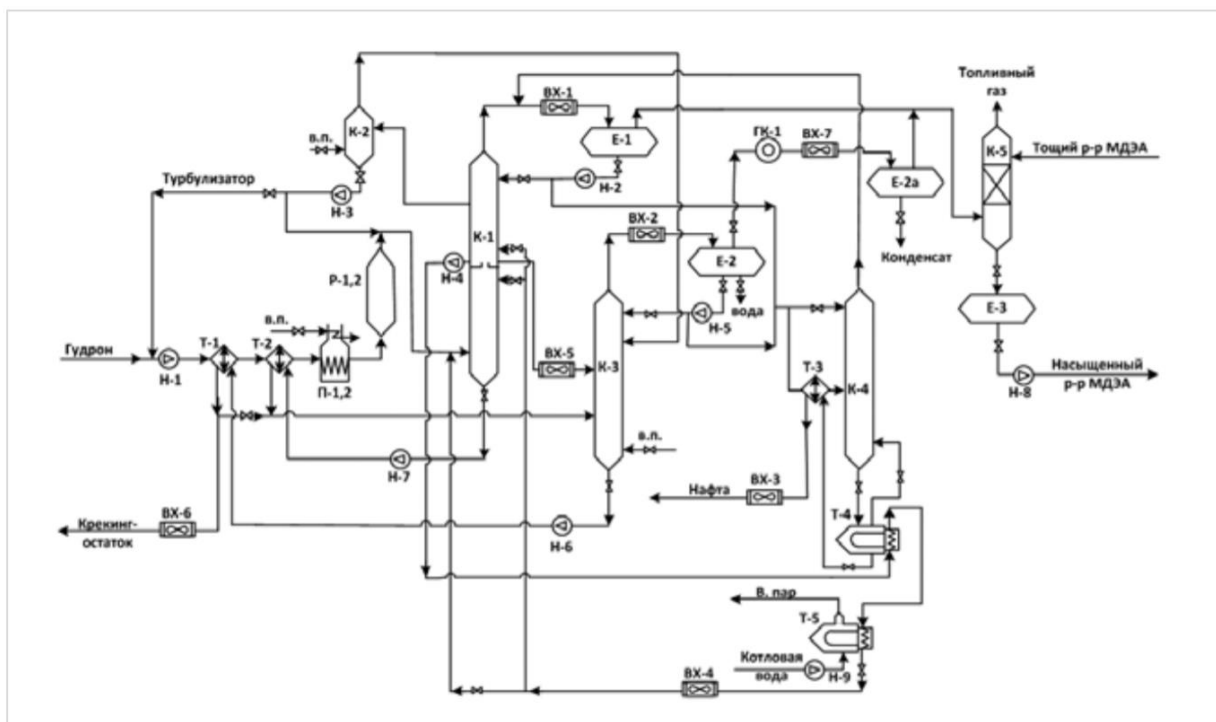


Рисунок 2 — Принципиальная схема установки висбрекинга ОАО «Танеко»

На рис. 2 представлена принципиальная схема данной установки висбрекинга, имеющей проектную мощность 2,4 млн. тонн/год. Гудрон после дозирования в него турбулизатора (керосиновой фракции) предварительно нагретый в теплообменниках поступает двумя потоками в трубчатые печи П-1, П-2 и далее с температурой 440–450°C в реакторы Р-1, Р-2. Благодаря выбранным конструкциям змеевиков печей и реакторов реакционная масса

висбрекинга пребывает в этих аппаратах не более 12 минут и после захлаживания дистиллятным квенчем поступает с температурой 390–395°С в зону питания колонны фракционирования К-1. Из колонны К-1 выводятся сверху — газ и пары нефти, сбоку — керосиновая фракция, снизу — нестабильный крекинг-остаток. Избыточное тепло в колонне К-1 отводится потоком циркуляционного орошения, выводимого из аккумулятора и охлажденного в змеевике кипятильника Т-4 колонны стабилизации нефти К-4, а затем в змеевике парогенератора Т-5. После этого охлажденный поток циркуляционного орошения частично подается в качестве квенча в поток реакционной массы, выводимой из реакторов Р-1, Р-2 в К-1. Остальная часть потока циркуляционного орошения возвращается в колонну К-1 выше зоны питания. Одновременно сбоку колонны К-1 (из аккумулятора) самотеком выводится газойлевая фракция, которая перепускается в колонну стабилизации крекинг-остатка К-3. Вывод керосиновой фракции из К-1 осуществляется через отпарную колонну К-2, пары с верха К-2 подаются выше точки ввода газойля в колонну К-3.

Такой режим работы фракционирующей колонны К-1 устраняет присутствие в дистилляте колонны паров воды, что исключает возникновение коррозионной среды в верхней части К-1 и в конденсаторе-холодильнике ВХ-1.

В колонне К-3, работающей в условиях подачи водяного пара в низ колонны, осуществляется отпарка остатка газа и бензиновых углеводородов от кубового продукта. В результате формируется стабильный крекинг-остаток, выкипающий выше 150°С, который после охлаждения в теплообменнике Т-1 частично возвращается в К-3 в смеси с потоком нестабильного крекинг-остатка для снижения температуры низа колонны К-3 до 270°С, остальная часть крекинг-остатка выводится с установки. В результате такой обработки стабильный крекинг-остаток содержит минимум сероводорода (около 2 ppm), что существенно сокращает расходы на серопоглощающую присадку для доведения его качества до требований ГОСТ на котельное топливо.

Газы и пары, выводимые сверху колонн К-1, К-3, конденсируются, охлаждаются и разделяются соответственно в рефлюксных емкостях Е-1 и Е-2.

Дистилляты этих колонн (нафта) частично возвращаются в виде острого орошения на верх колонн К-1, К-3, а их основная часть после смешения идет в колонну стабилизации К-4 двумя потоками. Верхний поток нафты с температурой 40°С выполняет функцию острого орошения, а нижний поток нафты после подогрева поступает в зону питания К-4. Газы, отводимые с верха К-4, перепускаются в шлемовую линию вывода паров из колонны К-1 и далее в конденсатор-холодильник ВХ-1. Кубовый продукт колонны К-4 стекает в кипятильник Т-4, а затем выводится с низа кипятильника Т-4 после охлаждения в Т-3, ВХ-3 с установки в виде стабильной нафты.

Потоки газа с верха рефлюксной емкости Е-1 и газа с верха рефлюксной емкости Е-2 (после компремирования) объединяются и подаются в колонну К-5 аминной очистки от сероводорода. В качестве абсорбента на верх колонны К-5 подается 45%-ный раствор метилдиэтанолamina. Сверху абсорбера К-5 выводится топливный газ, не содержащий сероводорода. Сероводород (в составе аминного раствора) откачивается в десорбер установки производства элементной серы.

В результате такого оформления процесса висбрекинга товарными продуктами на установке являются топливный газ, сероводород, стабильная нафта и крекинг-остаток. На установке снижается до минимума возможность образования кислой воды.

Выбранные в проекте технические решения позволяют добиться снижения вязкости гудронов, перерабатываемых на установке, в 20—30 раз.

В таб. 4 представлены данные по материальным балансам установки (проектные и фактически достигнутые). В таб. 5 представлены данные по анализам образцов сырья и получаемого стабильного крекинг-остатка.

Из таб. 4 видно, что достигнутые фактические показатели практически полностью совпадают с проектными материальными балансами по выходу нафты и крекинг-остатка. В процессе висбрекинга из гудрона вязкостью при 100°С равной 1074 сСт получается крекинг-остаток вязкостью 52 сСт, что практически соответствует требованиям на котельное топливо марки М-100 (вязкость при 100°С до 50 сСт). Другие параметры, определяющие качество

котельного топлива (температура вспышки, содержание серы) полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ 10585-99.

Таблица 4 — Материальные балансы установки висбрекинга (проектные и фактически достигнутые)

Показатели	Проектные данные		Фактические данные
	гудрон девонской нефти	гудрон карбоновой нефти	
1. Взято: гудрон, % масс.	100,00	100,00	100,00
2. Получено:			
- топливный газ	3,26	3,01	2,03
- сероводород	0,34	0,89	0,48
- нафта	4,80	3,30	4,83
- крекинг-остаток	91,40	92,60	92,50
- потери	0,20	0,20	0,54
Всего	100,00	100,00	100,00

Таблица 5 — Результаты анализов сырья и крекинг-остатка

Показатели	Исходный гудрон	Стабильный крекинг-остаток
1. Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	1002,3	998,7
2. Содержание серы, %	2,67	2,33
3. Вязкость кинематическая при 100°C, сСт	1074	52
4. Вязкость условная по ГОСТ 11503, сек.	192	8
5. Температура вспышки в открытом тигле, °C	284	138

## **Заключение (Conclusion)**

Методы интенсификации процесса висбрекинга, входящих в предложенную классификацию, показывает, что уровень использования этих методов в нефтеперерабатывающей промышленности различен – от промышленного применения на конкретных установках в течение уже длительного времени до первоначальных лабораторных исследований.

Таким образом, процесс висбрекинга может включаться в схему НПЗ в виде самостоятельной установки и служить в основном для получения котельного топлива из тяжелых нефтяных остатков, или входить в состав комплексов глубокой переработки нефти.

## **Список литературы (References):**

1. Капустин В. М., Гуреев А. А. Технология переработки нефти: Ч. 2. Деструктивные процессы. М.: КолосС, 2007. 334 с.
2. Г. В. Тараканов, А. Ф. Нурахмедова, И. В. Савенкова, А. Р. Рамазанова «Современные методы интенсификации процесса висбрекинга и их классификация»
3. Р. Р. Везиров (к.т.н., зав. отд.) «Основные практические закономерности и особенности процесса висбрекинга» Башкирский химический журнал. 2010. Том 17. № 3
4. Сотникова Т.А., Соснова Н.А. Химия и технология топлив и масел. 2004. №2. С. 38–39.
5. Хайрудинов И.Р., Тихонов А.А. и др. Висбрекинг высокосернистого сырья. Материалы МНПК. Нефтегазопереработка – 2012. Уфа: ГУП ИНХП РБ, 2012. С. 72–76.
6. Н.У. Маганов, Р.Д. Ремпель, И.Р. Хайрудинов, А.А. Тихонов, Э.Г. Теляшев «Проектирование и освоение установки висбрекинга на НПЗ ОАО «Танеко»
7. Т.А. Sotnikova and N.A. Sosnova «Experience in design visbreaking units» Chemistry and Technology of Fuels and Oils, Vol.40, No. 2, 2004
8. R. R. Vezirov «Visbreaking – technologies tested by practice and time» Chemistry and Technology of Fuels and Oils, Vol. 46, No.6, 2011