

УДК 665.637.5

**УВЕЛИЧЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ  
ЗА СЧЕТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ  
ВАКУУМНОГО БЛОКА УСТАНОВКИ ЭЛОУ АВТ-6**

**INCREASING OIL CONVERSION RATIO  
BY THE OPERATIONAL EFFICIENCY IMPROVEMENT  
OF THE VACUUM SECTION OF THE CDU/VDU-6 UNIT**

**М.В. Клыков, Т.В. Алушкина, Ю.А. Жаринов**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
филиал, г. Салават, Российская Федерация**

**Tatyana V. Alushkina, Mihail V. Klykov, Yuriy A. Zharinov**

**Ufa State Petroleum Technological University,  
branch, Salavat, Russian Federation**

**e-mail: alu1@yandex.ru**

**Аннотация.** Сокращение рынка котельного топлива и увеличение ресурса сырья установок каталитического крекинга широкого фракционного состава (350–560 °С) для получения высокооктанового бензина и дизельного топлива и тяжелого вязкого гудрона, являющегося компонентом дорожного битума и сырья для производства кокса, повышают актуальность глубокой переработки мазута.

Анализ работы вакуумных колонн установок ЭЛОУ АВТ показал, что в ряде случаев полугудрон содержит до 30 % вакуумного газойля с температурой выкипания до 560 °С. В связи с модернизацией и строительством новых установок каталитического крекинга появилась возможность переработки вакуумного газойля с концом кипения до 360 °С. Это позволяет увеличить ресурс сырья вакуумного газойля, а также

повысить вязкость гудрона и в дальнейшем использовать его в большем составе дорожного битума без окисления.

Задача увеличения глубины отбора вакуумного газойля решалась путем разработки дополнительной колонны КД, работающей при глубоком вакууме с остаточным давлением на верху колонны до 0,65 кПа. В качестве контактного устройства предлагается использовать регулярную насадку Mellapak 250 X, обладающую гидравлическим сопротивлением не выше 18 Па на одну теоретическую тарелку. Возможно также использование регулярной насадки из сетки с треугольными и трапецеидальными гофрами. Результаты моделирования подтвердили возможность получения тяжелого вакуумного газойля до 8,2 % от полугудрона.

Разработанные технология и оборудование соответствуют современным достижениям науки и техники в области вакуумной ректификации, что подтверждается литературными и патентными исследованиями.

**Abstract.** Reducing the fuel oil market and increasing the resource of raw materials for catalytic cracking units of a wide fractional composition (350–560 °C) to produce high-octane gasoline and diesel fuel and heavy viscous tar which is a component of road bitumen and raw materials for the production of coke, increases the relevance of deep fuel oil processing.

The analysis of the operation of the CDU/VDU vacuum columns showed that in some cases the flux-oil contained up to 30 % of vacuum gas oil with a boiling point of up to 560 °C. In connection with the modernization and construction of new catalytic cracking units, it became possible to process vacuum gas oil with an end boiling point up to 360 °C. This allows increasing the resource of raw materials of vacuum gas oil as well as increasing the tar viscosity and then using it in a larger composition of road bitumen without oxidation.

The task of increasing the vacuum gas oil sampling depth was solved by developing a supplementary KD column operating under deep vacuum with a residual pressure at the top of the column to 0.65 kPa. It is proposed to use a regular Mellapak 250 X nozzle with a hydraulic resistance of no higher than 18 Pa per perfect plate as a contact device. It is also possible to use a regular mesh nozzle with triangular and trapezoidal corrugations. The simulation results confirmed the possibility of obtaining a heavy vacuum gas oil up to 8.2 % of the flux-oil.

The developed technology and equipment correspond to the modern achievements of science and technology in the field of vacuum rectification as evidenced by literary and patent research.

**Ключевые слова:** тяжелый вакуумный газойль; глубина переработки; полугудрон; вакуумная колонна; давление; насадка; моделирование

**Key words:** heavy vacuum gas oil; processing depth; flux-oil; vacuum column; pressure; nozzle; modeling

Основное назначение новых и модернизированных установок (блоков) вакуумной перегонки мазута – получение вакуумного газойля широкого фракционного состава (н.к.-350 °С) и гудрона, являющегося компонентом дорожного битума или сырья для производства кокса. Вакуумный газойль используется как сырье установок каталитического крекинга, гидрокрекинга и в некоторых случаях – термического крекинга с получением дистиллятного крекинг-остатка, направляемого далее на коксование с целью получения высококачественных нефтяных коксов.

В настоящее время в связи с модернизацией и строительством новых установок каталитического крекинга возникла возможность переработки вакуумного газойля с концом кипения до 360 °С. Это, в свою очередь, увеличивает ресурс сырья вакуумного газойля, а также повышает вязкость гудрона и позволяет его использовать в большем составе дорожного

битума без окисления. Увеличить отбор и повысить качество вакуумного газойля в новых и модернизированных установках АВТ можно путем внедрения комплекса мероприятий: улучшением условий испарения мазута в печи, организацией оптимального движения парожидкостной смеси в трансферном трубопроводе от печи до вакуумной колонны, оснащением вакуумной колонны регулярной насадкой с низким гидравлическим сопротивлением, отнесенным к теоретической ступени контакта (теоретической тарелке) с целью снижения давления в зоне ее питания [1, 2]. Важной задачей является также увеличение производительности уже построенных установок АВТ, в том числе при изменении состава сырья, например, в сторону увеличения в нем содержания легкого и тяжелого вакуумного газойля [3, 4].

В настоящее время на ряде предприятий России в вакуумных колоннах АВТ используется перекрестноточные насадки (разработчик насадки – УГНТУ), ромбовидные (НИИ Нефтемаш), «Джемпарк» («Глитч»), «Mellapak» («Зульцер») [5].

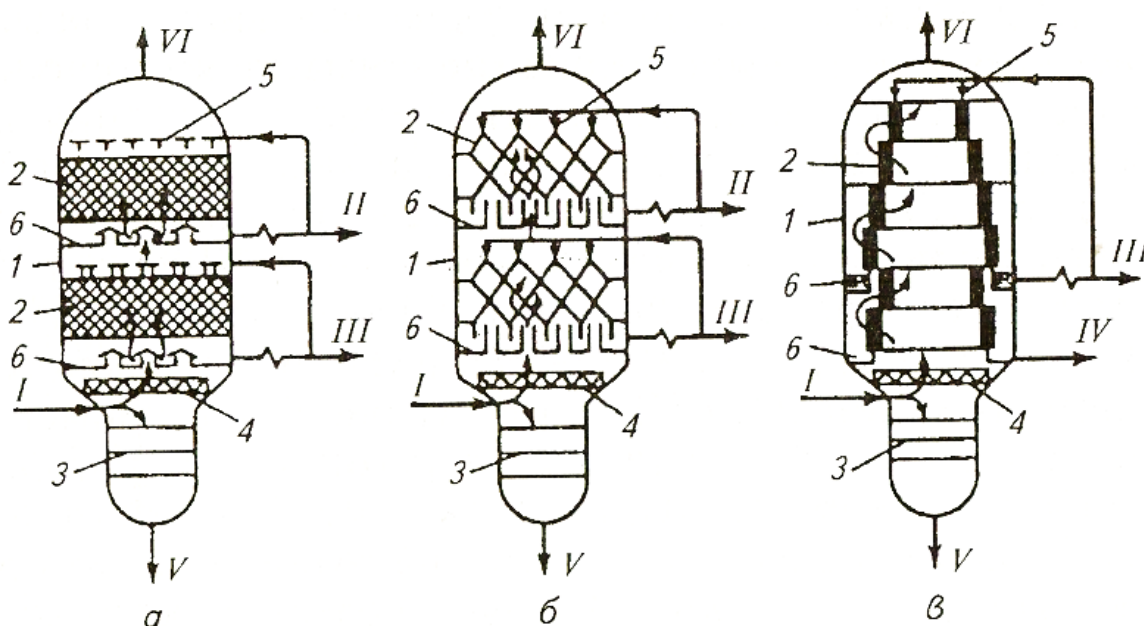
Известно много других регулярных насадок с низким гидравлическим сопротивлением на одну теоретическую тарелку. Особый интерес представляют насадки из гофрированной сетки фирмы «Зульцер» (насадка ВХ) и регулярная насадка с треугольными и трапецидальными гофрами [6], разработанная в филиале УГНТУ в г.Салавате.

По результатам обследования семи вакуумных колонн АВТ [5, 6] диапазон фактора нагрузки (F-фактор) в рассматриваемых колоннах составлял от 0,2 до 3,4 Па<sup>0,5</sup>. Перепад давления в колоннах соответственно составлял от 0,4 до 2,4 кПа (таблица 1).

**Таблица 1.** Результаты обследования вакуумных колонн АВТ

Промышленное предприятие	Производство/ установка	Тип контактных устройств	Фактор нагрузки F, Па <sup>0,5</sup>	Удельное гидравлическое сопротивление на 1 ТТ, кПа	Перепад давления по колонне, кПа
ОАО «Салаватнефтеоргсинтез»	ЭЛОУ-АВТ-4	Перекрестно-точная насадка	0,2 – 1,0	0,08	0,4
ОАО «Газпром нефтехим Салават»	ЭЛОУ-АВТ-6	Перекрестно-точная насадка	0,7–1,0	–	3,0–4,0
ОАО «Орскнефтеоргсинтез»	ЭЛОУ-АВТ-2	Перекрестно-точная насадка	0,7–3,7	0,12	1,3
ОАО «Орскнефтеоргсинтез»	ЭЛОУ-АВТ-3	–	1,8–2,2	0,13	2,0–2,4
Новоуфимский НПЗ	АВТ-1	Ромбовидная насадка	0,4–3,4	0,19	0,93
Уфимский НПЗ	ЭЛОУ-АВТ-6	Насадка «Джемпак» фирмы «Глитч»	1,6–3,0	0,18	1,8*
ОАО «Уфанефтехим»	АВТ-3	Насадка «Джемпак» фирмы «Глитч»	1,6–3,0	0,18	1,6
ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез»	комплекс масел КМ-2	Насадка «Mellapak» фирмы «Зульцер»	0,2–2,1	0,14	2,0
Примечание: * – на четырех слоях насадки.					

Конструктивное оформление насадочных колонн представлено на рисунке 1.



I – мазут; II – IV – боковые дистилляты;  
V – гудрон; VI – парогазовая смесь на конденсацию

1 – колонны; 2 – насадки; 3 – тарелки; 4 – каплеуловители;  
5 – распределители жидкости; 6 – сборные тарелки

а) колонна с регулярной насадкой Зульцера; б) колонна с насадкой из наклонных сетчатых пакетов; в) колонна с вертикальными пакетами

**Рисунок 1. Варианты насадочных вакуумных колонн**

При увеличении производительности по вакуумному газойлю любой из этих колонн их гидравлическое сопротивление увеличится пропорционально (приближенно) квадрату увеличения отбора вакуумного газойля.

Помимо этого, известна вакуумная насадочная колонна противоточного типа фирмы Гримма (ФРГ) [3]. Она предназначена для глубоковакуумной перегонки мазута с отбором вакуумного газойля с температурой конца кипения до 550 °С.

Отмечаются следующие достоинства этого процесса:

– высокая производительность – до 4 млн т/год по мазуту;

- возможность получения глубоковакуумного газойля с температурой конца кипения более 550 °С с низкими коксуемостью ( $< 0,3$  % масс. по Конрадсону) и содержанием металлов ( $V + 10Ni + Na$ ) менее 2,5 ppm;
- пониженная (на 10–15 °С) температура нагрева мазута после печи;
- более чем в 2 раза снижение потери давления в колонне;
- существенное снижение расхода водяного пара на отпарку.

На Шведском НПЗ (ФРГ) эксплуатируются две установки этой фирмы производительностью по 2 млн т/год по мазуту. Вакуумная колонна оборудована регулярной насадкой типа «Перформ-Грид». Давление на верху и зоне питания колонны поддерживается соответственно 0,7 и 0,36 кПа [7].

Снижение давления в зоне питания напрямую также связано с давлением наверху колонны. Давление на верху колонны зависит от эффективности работы создающей вакуум системы. В настоящее время широко используются парожеторные создающие вакуум системы. Эффективность их работы и количество паров и газов, которые они должны откачивать, существенно зависят от степени конденсации паров в конденсаторах вакуумных колонн. В летнее время, когда температура воздуха повышается, увеличивается и давление на верху вакуумной колонны [8].

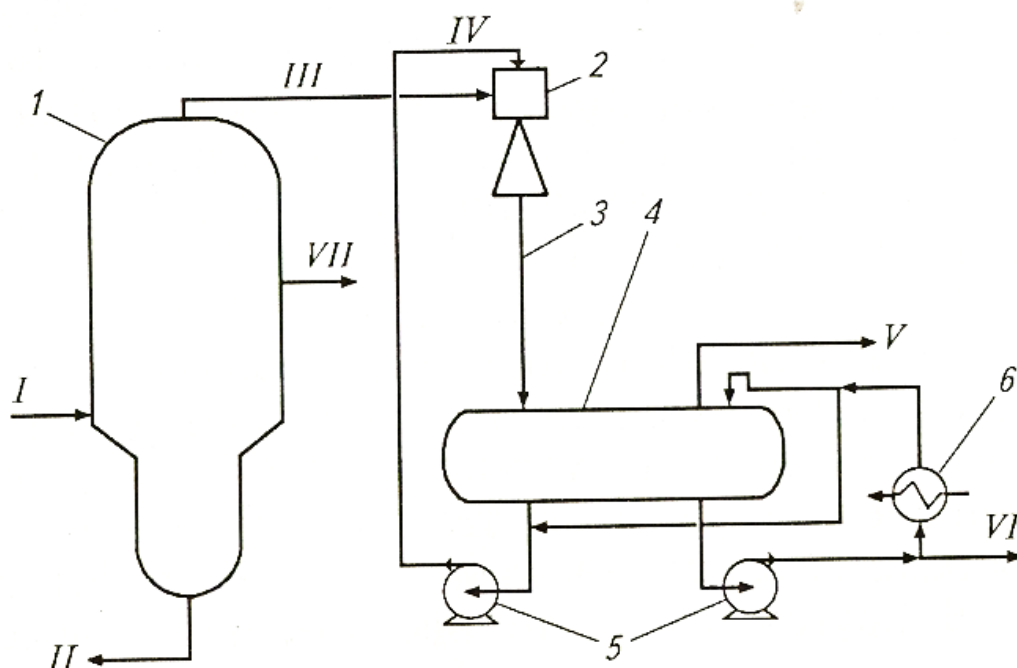
Наибольшее распространение получили следующие системы создания вакуума:

- с включением барометрического конденсатора, в котором осуществляется конденсация паров, выходящих с верха вакуумной колонны, за счет подачи воды или дизельного топлива в качестве конденсирующего и абсорбирующего агента;
- с включением поверхностных конденсаторов с закрытой конденсацией паров;
- с предвключенными паровыми эжекторами, отсасывающими газы и пары непосредственно из колонны.

Недостатками рассматриваемой системы создания вакуума являются образование большого количества загрязненной нефтепродуктами воды, насыщение ее углеводородными газами и сероводородом.

Для сокращения количества загрязненной воды в барометрический конденсатор подают охлажденное дизельное топливо и заменяют барометрические конденсаторы поверхностными [3].

В 2002 году на вакуумных колоннах ряда НПЗ (Московском, Мозырском, Мажейкяйском, Комсомольском, «Уфанефтехим» и др.) внедрена и успешно эксплуатируется новая высокоэффективная экологически чистая конденсационно-вакуумная система (КВС) с использованием жидкостного струйного устройства – вакуумного гидроциркуляционного (ВГЦ) агрегата (рисунок 2).



1 – вакуумная колонна; 2 – жидкостной эжектор; 3 – вертикальный стояк;  
4 – разделительная емкость; 5 – насосы; 6 – холодильник

I – сырье-мазут; II – гудрон; III – несконденсированные пары и газы;  
IV – циркулирующий нефтепродукт; V – газ; VI – избыток нефтепродукта;  
VII – дистилляты

**Рисунок 2.** Схема одноступенчатой системы создания вакуума с жидкостным эжектором



Для вакуумных установок с небольшим расходом откачиваемых газов для создания глубокого вакуума в настоящее время используются механические сухие винтовые вакуумные насосы [9].

Снижение давления на верху вакуумной колонны снижает плотность паровой фазы в колонне и увеличивает ее объем. При неизменном F-факторе это приводит к увеличению диаметра колонны пропорционально давлению в степени минус 0,5. При снижении давления в колонне в среднем, например, в два раза при сохранении того же перепада давления производительность колонны должна быть уменьшена на 40 % или на 40 % должна быть увеличена площадь ее сечения [10].

Снижение общего остаточного давления в вакуумной колонне увеличивает относительную летучесть фракций (псевдокомпонентов) гудрона, что повышает четкость их разделения.

Температура нагрева мазута в печи определяется температурой его термического разложения, которое ведет к образованию неконденсируемых газов разложения. При нагреве малосернистых мазутов до 410–415 °С и сернистых – до 400–410 °С выход этих газов составляет от 0,05 % масс. до 0,15 % масс. на мазут [11] (таблица 2).

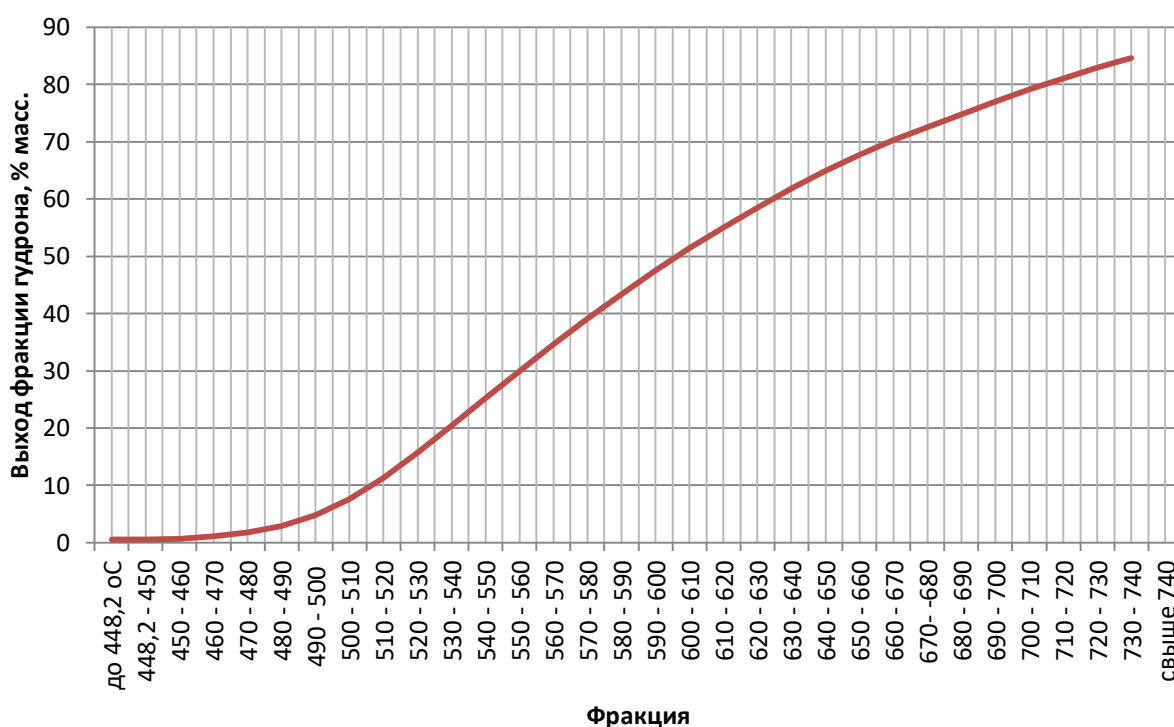
**Таблица 2.** Состав газов и паров после эжектора [11]

Состав	C <sub>1</sub> –C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>
Количество, % масс.	6,0	5,7	6,0	9,3	9,2	15,0	32,7	16,1

Результаты анализа работы колонн АВТ показали, что технологии фракционирования мазута с использованием водяного пара в условиях умеренного вакуума 5,3–9,0 кПа обеспечивают высокий отбор дистиллятных фракций, выкипающих при температуре 500 °С, на уровне 85–90 % от их потенциального содержания. В то же время в гудроне остается до 25–30 % масс. вакуумного газойля с концом кипения 560 °С.

Типичный состав вакуумного газойля современных установок приведен на рисунке 3.

Как следует из этих данных, в гудроне содержится до 30 % масс. фракции, выкипающей при температуре до 560 °С, и 25 % масс., выкипающей при температуре 550 °С. В то же время в гудроне содержится всего 4,8 % масс., выкипающей при температуре до 500 °С. Таким образом, в основном до 25 % масс. – это фракции, выкипающие при интервале от 500 °С до 550 °С.



**Рисунок 3.** Типичный состав гудрона  
при давлении внизу вакуумной колонны до 9 кПа

Увеличение отбора тяжелого вакуумного газойля возможно в дополнительной колонне, работающей при глубоком вакууме с остаточным давлением на верху колонны до 0,65 кПа, в результате создания глубокого вакуума в зоне ввода сырья в вакуумной колонне и при использовании в качестве сырья полугудрона из основной вакуумной колонны без нагрева [10, 12].

Это имеет *следующие преимущества.*

1) В полугудроне отсутствуют низкокипящие компоненты легкого вакуумного газойля (ЛВГ) и вакуумного газойля (ВГ), присутствующие в мазуте. В этой связи объем паров в дополнительной колонне даже при глубоком вакууме позволяет создать колонну относительно небольших размеров по диаметру и высоте.

2) Присутствие в паровой фазе в дополнительной колонне только тяжелого вакуумного газойля (ТВГ) исключает необходимость вывода ЛВГ и ВГ и требует меньшего числа теоретических тарелок, чем в основной вакуумной колонне установки АВТ.

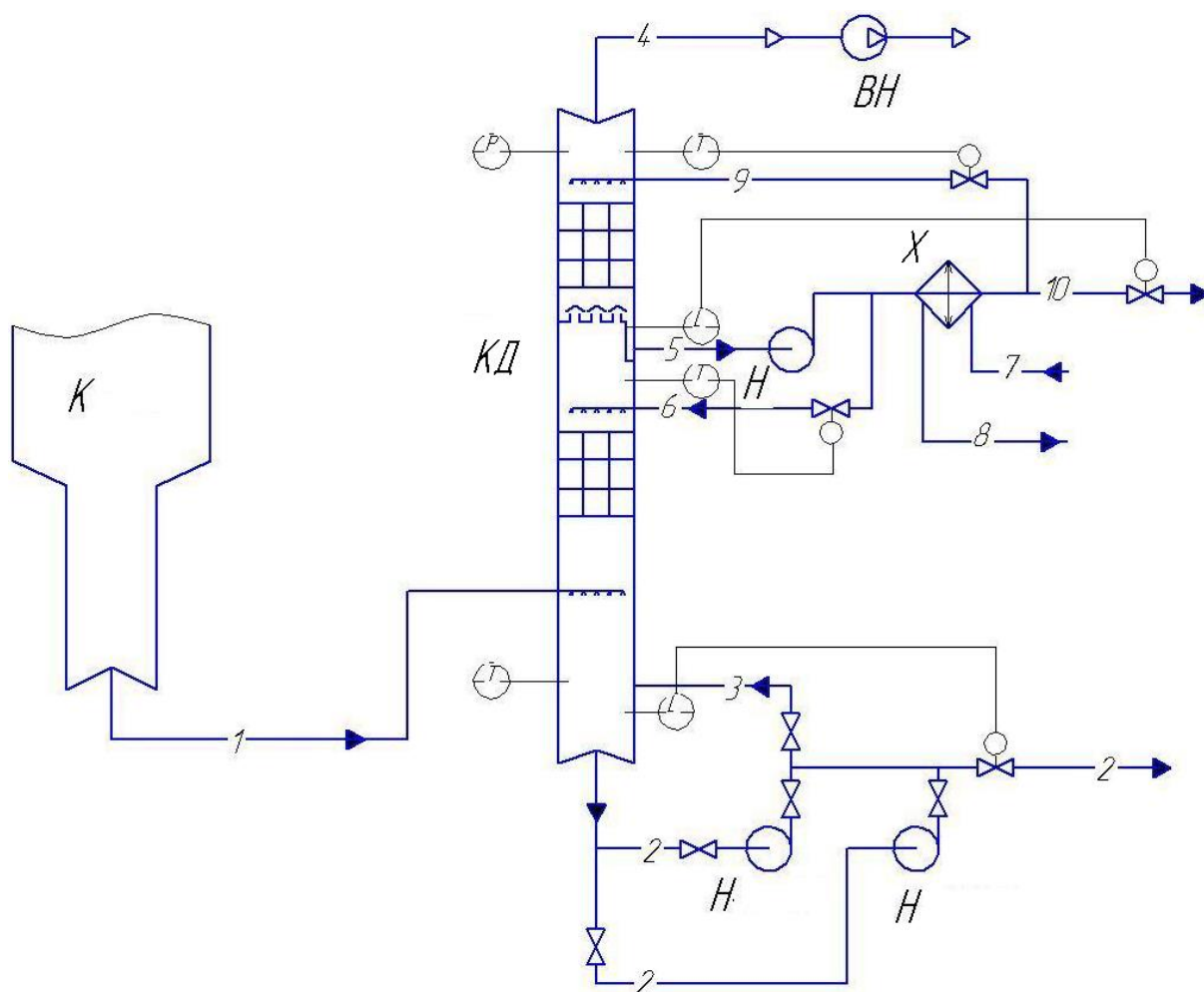
3) Уменьшение числа теоретических тарелок в дополнительной колонне снижает ее гидравлическое сопротивление, что позволяет снизить давление в зоне ввода сырья.

4) Использование полугудрона в качестве сырья в дополнительной колонне резко снижает количество газов разложения в ней, т.к. основное количество газов разложения отпаривается в основной колонне. Это требует для дополнительной колонны создающей вакуум системы небольшой производительности.

Моделирование глубоковакуумной ректификации гудрона в дополнительной колонне выполнено в среде программного продукта Aspen HYSYS Version 2006.

В качестве сырья принят гудрон, имитационная разгонка которого приведена на рисунке 3.

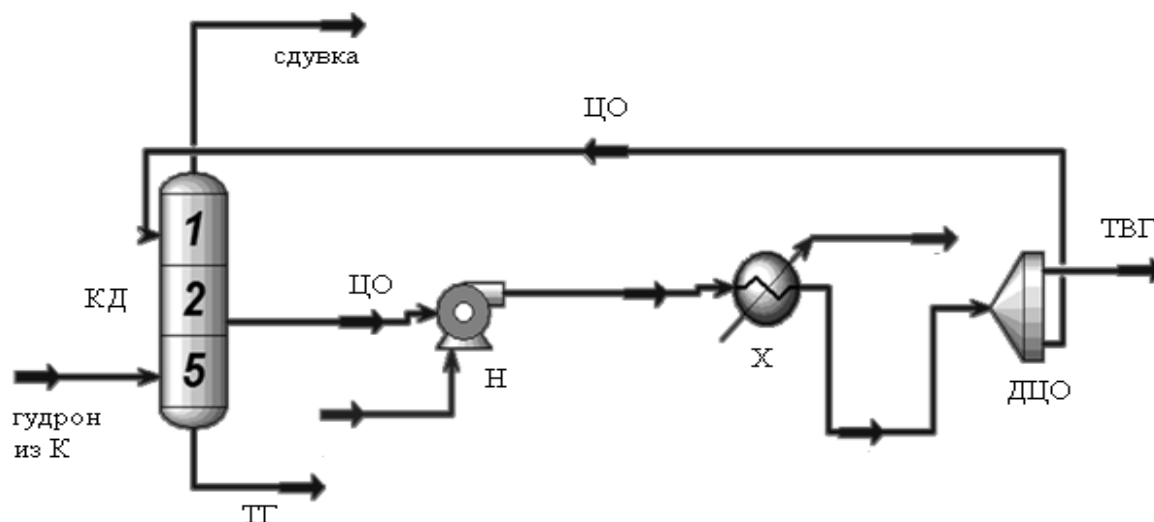
Принципиальная схема процесса ректификации в дополнительной колонне КД представлена на рисунке 4.



1 – сырье (полугудрон); 2 – тяжелый гудрон; 3 – тяжелый гудрон на рециркуляцию;  
4 – сдувки; 5 – ТВГ на циркуляцию; 6 – жидкость на орошение; 7 – сырая нефть;  
8 – нефть на ЭЛОУ; 9 – циркуляционное орошение; 10 – ТВГ (готовый продукт)

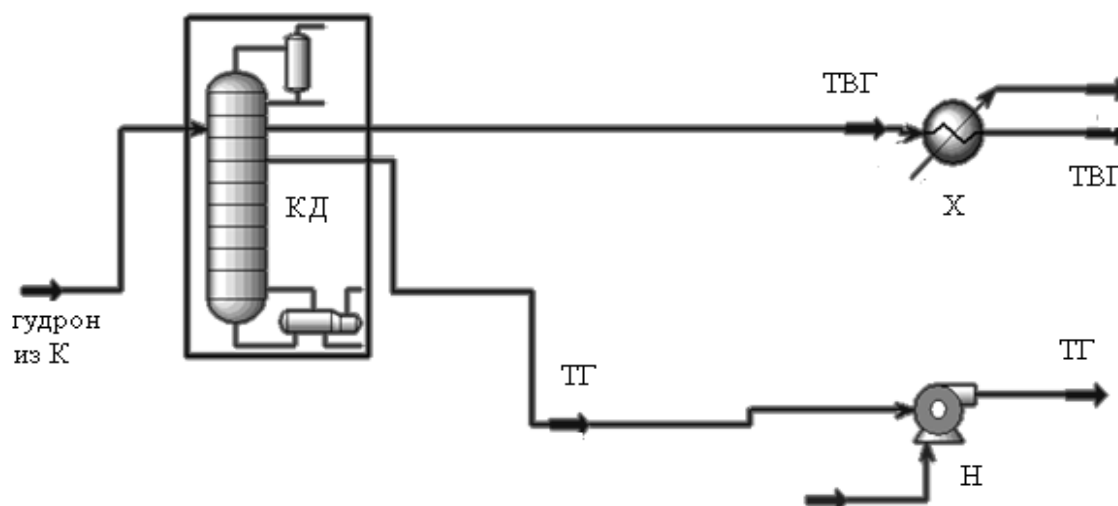
**Рисунок 4.** Принципиальная схема ректификации  
в дополнительной колонне КД

Схема ректификации полугудрона в среде Aspen HYSYS Version 2006  
представлена на рисунках 5 и 6.



гудрон из К – полугудрон (сырье) из основной вакуумной колонны;  
ТВГ – тяжелый вакуумный газойль; ТГ – тяжелый гудрон на выходе из колонны КД;  
ЦО – циркуляционное орошение; КД – дополнительная колонна; Н – насос;  
Х – холодильник; ДЦО – делитель циркуляционного орошения

**Рисунок 5.** Модель схемы ректификации гудрона, созданная при использовании Aspen HYSYS Version 2006 в среде колонны



гудрон из К – полугудрон (сырье) из основной вакуумной колонны;  
ТВГ – тяжелый вакуумный газойль; ТГ – тяжелый гудрон на выходе из колонны КД;  
КД – дополнительная колонна; Н – насос; Х – холодильник

**Рисунок 6.** Модель схемы ректификации гудрона, созданная при использовании Aspen HYSYS Version 2006 в родительской схеме

Результаты моделирования подтвердили возможность получения тяжелого вакуумного газойля до 8,2 % от полугудрона, удовлетворяющего требованиям регламента по содержанию высококипящих компонентов.

Как следует из анализа этих результатов (таблица 3), содержание газов разложения в полугудроне не превышает  $8,26 \cdot 10^{-10}$  % масс., а количество воды составляет не более  $7 \cdot 10^{-6}$  % масс. Следовательно, практически все количество газов разложения отпаривается в колонне К.

**Таблица 3.** Содержание газов разложения в полугудроне (куб колонны К)

№ п.п.	Газы разложения	Количество газа, кг/ч на 100 кг/ч мазута (сырья)	Количество газа, кг/ч на 100 кг/ч гудрона
1	CH <sub>4</sub>	$1,7989 \cdot 10^{-3}$	$1,92 \cdot 10^{-15}$
2	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	$1,7989 \cdot 10^{-3}$	$9,21 \cdot 10^{-15}$
3	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	$3,418 \cdot 10^{-3}$	$6,16 \cdot 10^{-14}$
4	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	$3,5979 \cdot 10^{-3}$	$2,34 \cdot 10^{-13}$
5	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	$5,5767 \cdot 10^{-3}$	$1,22 \cdot 10^{-12}$
6	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	$5,5167 \cdot 10^{-3}$	$4,04 \cdot 10^{-12}$
7	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	$8,9946 \cdot 10^{-3}$	$2,09 \cdot 10^{-11}$
8	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	$1,9189 \cdot 10^{-2}$	$1,38 \cdot 10^{-10}$
9	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	$9,5943 \cdot 10^{-3}$	$6,61 \cdot 10^{-10}$
	Всего	0,0595	$8,26 \cdot 10^{-10}$

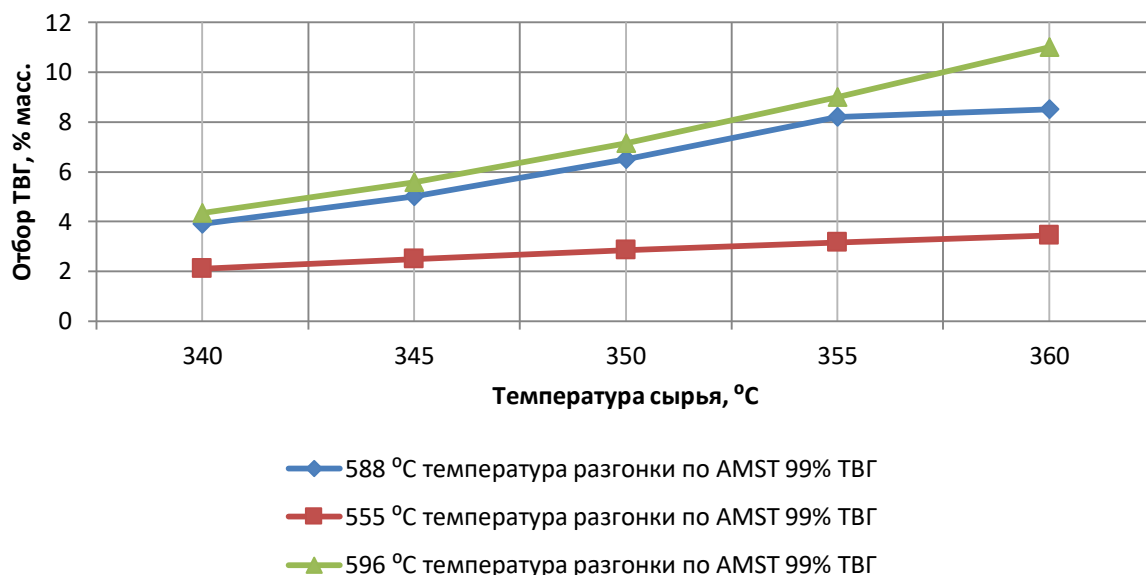
Результаты моделирования ректификации полугудрона, поступающего из вакуумной колонны К в колонну КД при температуре сырья от 340 °С до 360 °С, приведены на рисунках 7–9.

С увеличением температуры полугудрона, поступающего из колонны К, увеличивается отбор ТВГ в КД (рисунок 7), а количество сдвuki снижается (рисунок 8). С уменьшением содержания высококипящих компонентов в ТВГ доля его отбора снижается.

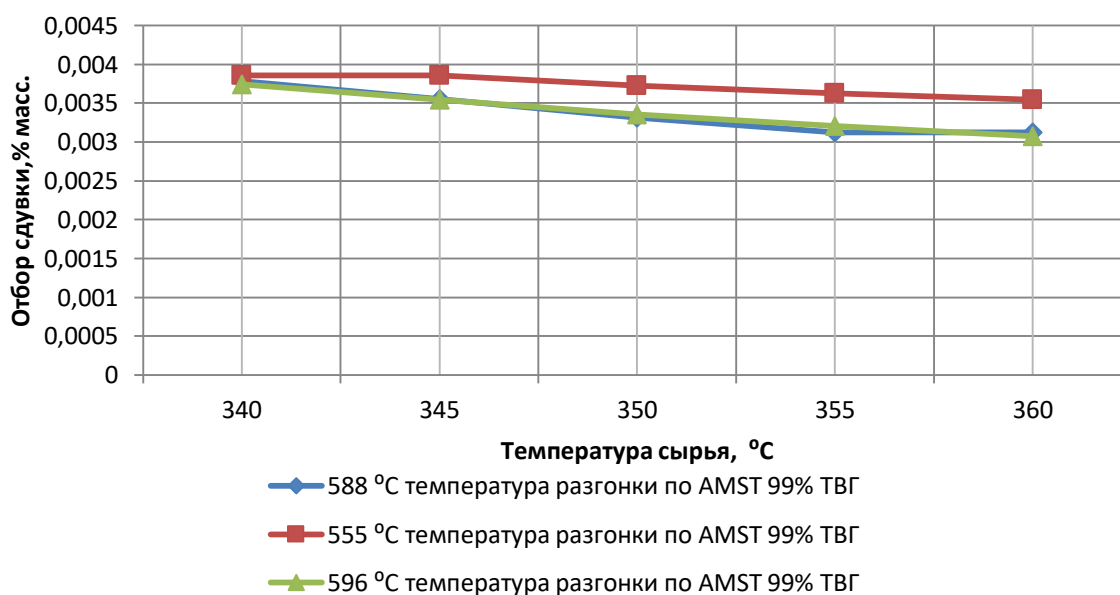
С ростом температуры сырья, поступающего в дополнительную колонну КД, возрастает и расход циркуляционного орошения (рисунок 9) и почти не зависит от состава получаемого ТВГ.

Фракционный состав получаемого ТВГ в дополнительной колонне КД представлен на рисунке 10. В связи с пониженным содержанием в полугудроне вакуумной колонны К фракций с температурой кипения до 500 °С понижено содержание этих фракций и в ТВГ колонны КД.

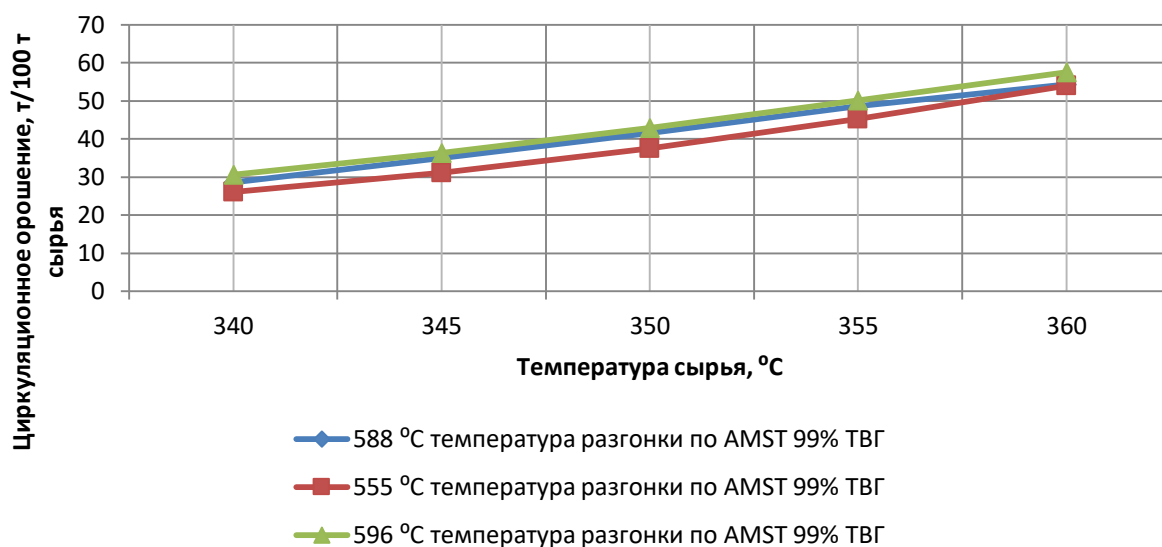
Доля фракций с различной температурой кипения в ТВГ колонны КД представлена на рисунке 11. Максимально в этом ТВГ содержится количество фракции со средней температурой кипения 500–552 °С в зависимости от качества ТВГ.



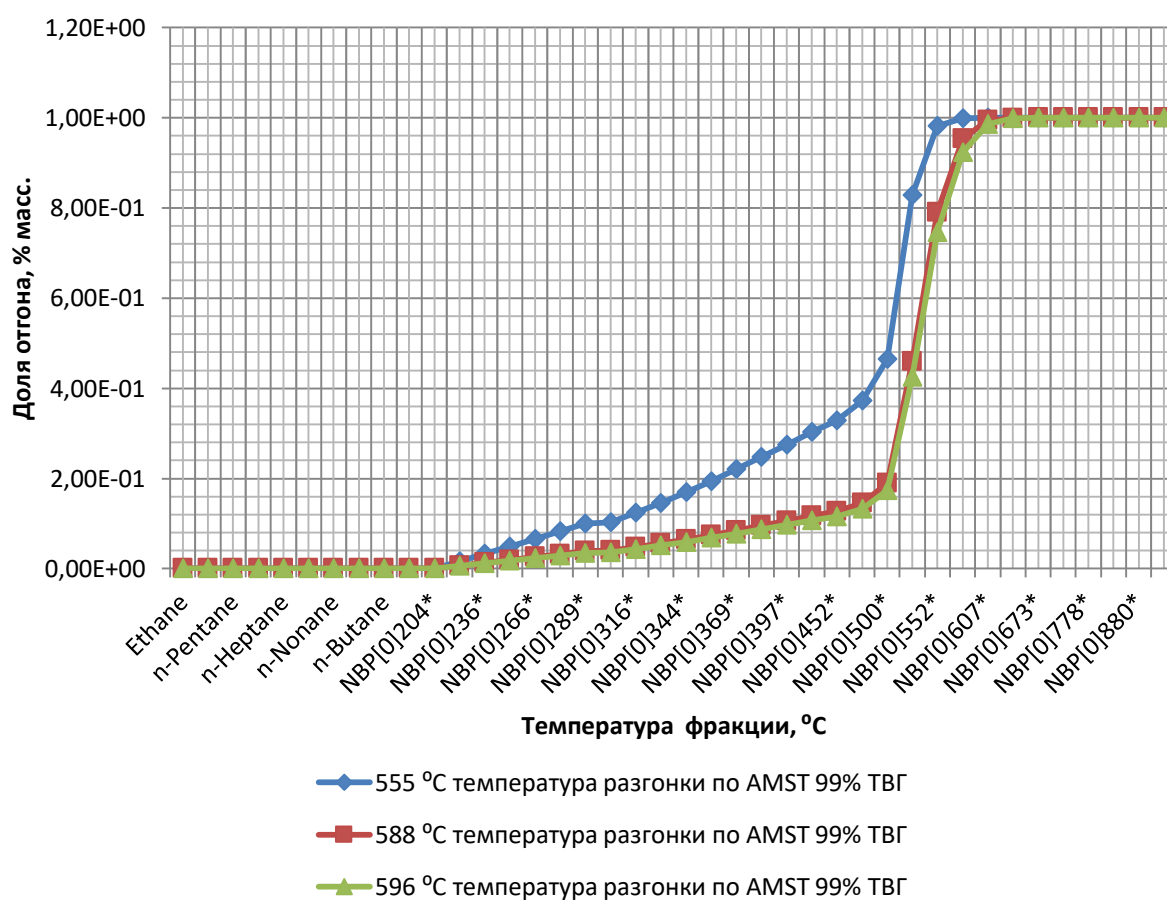
**Рисунок 7.** Зависимость отбора ТВГ из КД при различных температурах исходного сырья и требованиях к качеству продукта (в % масс. на сырье)



**Рисунок 8.** Зависимость количества сдувки из КД при различных температурах исходного сырья и требованиях к качеству ТВГ (в % масс. на сырье)

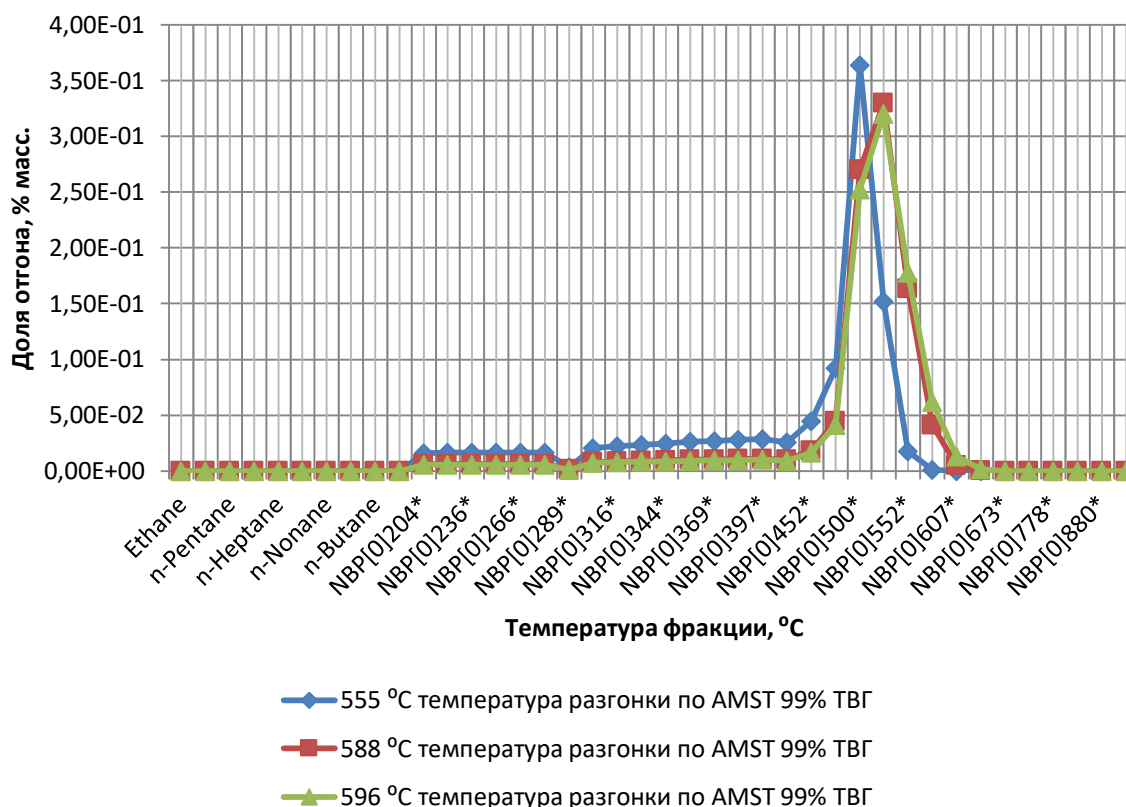


**Рисунок 9.** Зависимость циркуляционного орошения в КД при различных температурах исходного сырья и требованиях к качеству ТВГ (в % масс. на сырье)



**Рисунок 10.** Фракционный состав ТВГ в зависимости от его качества





**Рисунок 11.** Зависимость доли отгона фракций ТВГ от средних температур выкипания фракций

## Выводы

Из результатов моделирования ректификации полугудрона в дополнительной колонне КД следует:

1) отбор ТВГ составляет от 3,15 % масс. до 9,01 % масс. в диапазоне температуры от 555 °C до 596 °C 99 % отгона ТВГ по ASTM при температуре сырья (полугудрона) 355 °C;

2) с увеличением температуры сырья до 360 °C отбор ТВГ увеличивается с 3,45 % масс. до 11 % масс. в диапазоне температуры от 555 °C до 596 °C 99 % отгона ТВГ по ASTM;

3) во всем диапазоне отбора ТВГ от 3,15 % масс. до 11 % масс. расход газов сдувки не превышает 0,003856 % масс. при температуре сырья от 345 °C до 360 °C. Это соответствует при расходе сырья 100 т/ч 3,856 кг/ч газов сдувки или 244,7 м<sup>3</sup>/ч при давлении 0,65 кПа и температуре 80 °C;

4) в результате испарения тяжелого вакуумного газойля из полугудрона температура гудрона в вакуумной колонне К снижается не более чем на 6–7 °С.

### Список используемых источников

1. Ратовский Ю.Ю., Лебедев Ю.Н. Опыт реализации технологии глубоковакуумной перегонки мазута // Химия и технология топлив и масел. 2006. № 6. С. 10-12.

2. Ратовский Ю.Ю. Основные тенденции развития технологии вакуумной перегонки мазута // Химия и технология топлив и масел. 2010. № 4. С. 26-28.

3. Морозов В.А., Отрошко Т.П., Моржухина Л.Д., Луговский А.И., Язев К.А., Ямпольская М.Х., Назаркин А.П. Современная установка вакуумной перегонки мазута // Нефтепереработка и нефтехимия. 2016. № 10. С. 51-58.

4. Radchenko E.D., Melik-Akhnazrov T.Kh., Kaminskii E.F., Kurganov V.M. Problems in Increasing the Depth of Crude OLF Processing in the USSR // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 1981. No. 1. P. 3-8.

5. Чуракова С.К., Нестеров И.Д., Богатых К.Ф. Техничко-эксплуатационные характеристики вакуумных колонн, оборудованных регулярными насадками различных типов // Нефтепереработка и нефтехимия. 2013. № 4. С. 51-56.

6. Клыков М.В., Тимергазина Т.М. Регулярная насадка с треугольными и трапецеидальными гофрами. Исследования и опыт эксплуатации // Нефтепереработка и нефтехимия – 2003: матер. науч.-практ. конф. Уфа: ИНХП РБ, 2003. 382 с.

7. Yuxin L., Junhong L., Zhiming X. Properties, Compositions and Structure Characteristics of Kazakhstan and Russian Vacuum Residua // Petroleum Science. No. 4. P. 100-106. DOI: 10.1007/BF03187463.

8. Клыков М.В. Модернизация вакуумного блока установки ЭЛОУ АВТ-4 // Химическая техника. 2011. № 4. С. 28.
9. Винтовые вакуумные насосы Atlas Copco GHS 350 VSD+ // ЭВТЕК. URL: <http://evtec.ru/atlas-copco-ghs-350-vsd-plus> (дата обращения: 14.11.2019).
10. Клыков М.В., Чильдинова Е.В. Блок ректификации нефти со сложной отпарной колонной // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – фундамент подготовки специалистов будущего: матер. междунар. науч.-метод. конф. Салават: УГНТУ, 2012. С. 222-225.
11. Chekmenev V.G., Khanin Y.D. Calculation of the Composition and Yield of Decomposition Gases in Furnaces for Heating Atmospheric Resid // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2010. Vol. 46. No. 4. P. 248-250. DOI: 10.1007/s10553-010-0218-3.
12. Клыков М.В., Алушкина Т.В., Глазков Я.В. Увеличение отбора вакуумного газойля на установке АВТ // Нефтегазовый комплекс: проблемы и инновации: тез. III науч.-практ. конф. с междунар. участием. Самара: СГТУ, 2018. С. 94.

## References

1. Ratovskii Yu.Yu., Lebedev Yu.N. Opyt realizatsii tekhnologii glubokovakuumnoi peregonki mazuta [Experience in Implementation of Technology for High-Vacuum Distillation of Atmospheric Resid]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel – Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 2006, No. 6, pp. 10-12. [in Russian].
2. Ratovskii Yu.Yu. Osnovnye tendentsii razvitiya tekhnologii vakuumnoi peregonki mazuta [Fundamental Trends in Development of Technology for Vacuum Distillation of Atmospheric Resid]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel – Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 2010, No. 4, pp. 26-28. [in Russian].

3. Morozov V.A., Otroshko T.P., Morzhukhina L.D., Lugovskii A.I., Yazev K.A., Yampol'skaya M.Kh., Nazarkin A.P. Sovremennaya ustanovka vakuumnoi peregonki mazuta [Modern Unit of Vacuum Distillation of Fuel Oil]. *Neftepererabotka i neftekhimiya – Oil Processing and Petrochemistry*, 2016, No. 10, pp. 51-58. [in Russian].
4. Radchenko E.D., Melik-Akhnazrov T.Kh., Kaminskii E.F., Kurganov V.M. Problems in Increasing the Depth of Crude OLF Processing in the USSR. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 1981, No. 1, pp. 3-8.
5. Churakova S.K., Nesterov I.D., Bogatykh K.F. Tekhniko-ekspluatatsionnye kharakteristiki vakuumnykh kolonn, oborudovannykh regul'yarnymi nasadkami razlichnykh tipov [Technical and Operational Characteristics of Vacuum Columns Equipped with Regular Nozzles of Different Types]. *Neftepererabotka i neftekhimiya – Oil Processing and Petrochemistry*, 2013, No. 4, pp. 51-56. [in Russian].
6. Klykov M.V., Timergazina T.M. Regul'yarnaya nasadka s treugol'nymi i trapetseidal'nymi goframi. Issledovaniya i opyt ekspluatatsii [Regular Nozzle with Triangular and Trapezoidal Corrugations. Research and Operating Experience]. *Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii «Neftepererabotka i neftekhimiya – 2003»* [Materials of the Scientific-Practical Conference «Oil Refining and Petrochemistry – 2003»]. Ufa, INKhP RB Publ., 2003, 382 p. [in Russian].
7. Yuxin L., Junhong L., Zhiming X. Properties, Compositions and Structure Characteristics of Kazakhstan and Russian Vacuum Residua. *Petroleum Science*, No. 4, pp. 100-106. DOI: 10.1007/BF03187463.
8. Klykov M.V. Modernizatsiya vakuumnogo bloka ustanovki ELOU AVT-4 [Modernization of the Vacuum Unit of the ELOU AVT-4 Installation]. *Khimicheskaya tekhnika – Chemical Engineering Journal*, 2011, No. 4, pp. 28. [in Russian].

9. Vintovye vakuumnye nasosy Atlas Copco GHS 350 VSD+ [Atlas Copco GHS 350 VSD + Screw Vacuum Pumps]. *EVTEK*. Available at: <http://evtec.ru/atlas-copco-ghs-350-vsd-plus> (accessed 14.11.2019). [in Russian].

10. Klykov M.V., Chil'dinova E.V. Blok rektifikatsii nefti so slozhnoi otparnoi kolonnoi [Oil Distillation Unit with Complex Stripping Column]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii «Integratsiya nauki i obrazovaniya v vuzakh neftegazovogo profilya – fundament podgotovki spetsialistov budushchego»* [Materials of the International Scientific-Methodical Conference «Integration of Science and Education in Universities of Oil and Gas Profile – the Foundation for Training Specialists of the Future»]. Salavat, UGNTU Publ., 2012, pp. 222-225. [in Russian].

11. Chekmenev V.G., Khanin Y.D. Calculation of the Composition and Yield of Decomposition Gases in Furnaces for Heating Atmospheric Resid. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 2010, Vol. 46, No. 4, pp. 248-250. DOI: 10.1007/s10553-010-0218-3.

12. Klykov M.V., Alushkina T.V., Glazkov Ya.V. Uvelichenie otbora vakuumnogo gazoilya na ustanovke AVT [Increase in Selection of Vacuum Gas Oil at the AVT Installation]. *Tezisy III nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Neftegazovyi kompleks: problemy i innovatsii»* [Abstracts of the 3rd Scientific-Practical Conference with International Participation «Oil and Gas Complex: Problems and Innovations»]. Samara, SGTU Publ., 2018, pp. 94. [in Russian].

## **Сведения об авторах**

### **About the authors**

Клыков Михаил Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Оборудование предприятий нефтехимии и нефтепереработки», УГНТУ, филиал, г. Салават, Российская Федерация

Mihail V. Klykov, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Equipment of Petrochemical and Oil Refining Enterprises Department, USPTU, Branch, Salavat, Russian Federation

e-mail: klykovm@mail.ru

Алушкина Татьяна Валентиновна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Оборудование предприятий нефтехимии и нефтепереработки», УГНТУ, филиал, г. Салават, Российская Федерация

Tatyana V. Alushkina, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Equipment of Petrochemical and Oil Refining Enterprises Department, USPTU, Branch, Salavat, Russian Federation

e-mail: alu1@yandex.ru

Жаринов Юрий Александрович, канд. пед. наук, доцент кафедры «Информационные технологии», УГНТУ, филиал, г. Салават, Российская Федерация

Yuriy A. Zharinov, Candidate of Pedagogical Sciences, Assistant Professor of Information Technologies Department, USPTU, Branch, Salavat, Russian Federation

e-mail: zharinovya@mail.ru