

УДК 665.63

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ОТБЕНЗИНИВАНИЯ НЕФТИ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Савченков А.Л., Мозырев А.Г., Маслов А.А.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: savchenkoval@tyuiu.ru

Настоящая статья посвящена исследованию взаимосвязи между глубиной отбензинивания при перегонке нефти и основными параметрами работы ректификационной колонны. Применение предварительного отбензинивания нефти на установках атмосферной перегонки нефти влияет на режим работы всей установки, приводит к увеличению выхода светлых фракций. Выявление характера зависимости основных показателей работы колонны при изменении режима её работы является актуальной задачей. Глубина отбензинивания в работе оценивалась по увеличению температуры конца кипения дистиллята колонны (или утяжеления получаемой бензиновой фракции). В зависимости от глубины отбензинивания авторами проанализировано изменение минимального и оптимального флегмового числа, минимального и оптимального числа теоретических тарелок. В работе выявлен характер изменения необходимого количества рабочих тарелок в концентрационной и отгонной частях отбензинивающей колонны, установлена зависимость температурного режима ректификационной колонны от степени утяжеления дистиллята. Показана взаимосвязь необходимого количества подводимого тепла в куб и необходимого диаметра колонны от утяжеления дистиллята. В статье впервые установлены зависимости между основными параметрами работы колонны, глубиной отбензинивания и чёткостью ректификации. Результаты данной работы будут полезны инженерно-техническим работникам при изменении технологического режима ректификационной колонны и оптимизации работы установок атмосферной перегонки нефти.

Ключевые слова: перегонка нефти, глубина отбензинивания, минимальное флегмовое число, оптимальное флегмовое число, число теоретических тарелок, диаметр колонны

INFLUENCE OF CRUDE TOPPING DEPTH ON THE PERFORMANCE INDICATORS OF RECTIFICATION COLUMN

Savchenkov A.L., Mozyrev A.G., Maslov A.A.

Industrial University of Tyumen, Tyumen, e-mail: savchenkoval@tyuiu.ru

This article is devoted to the investigation of the interrelationship between the crude topping depth in oil distillation and basic parameters of the rectification column performance. Application of preliminary crude topping in the installations of atmospheric oil distillation has influence on the working regime of the whole installation and leads to increasing light fractions output. Finding out the dependence character of the basic properties of the column work when changing its working regime is an actual task. The crude topping depth was evaluated by the temperature raising of the end boiling point of the column distillate (or weighting benzine fraction received). The change of minimal and optimal reflux ratio, of minimal and optimal number of theoretical plates depending on the crude topping depth has been analysed by the authors. The character of changing working plates number in concentration and distillation parts of the crude topping column has been found out, the dependence of the temperature regime of the distillation column on distillate weighting is revealed in the work. The interrelationship of the necessary quantity of heat supplied into the column cube and the necessary column diameter while distillate weighing is shown. Dependences between the basic parameters of the column work, crude topping depth and rectification efficiency has been first determined in the article. The results of the present work will be useful for engineers-technologists when the technological regime of the rectification column is change and the work of the atmospheric oil distillation installation is optimised.

Keywords: oil distillation, depth of crude topping, minimum reflux ratio, optimum reflux ratio, number of theoretical plates, diameter of the column

Переработка нефти основана в первую очередь на процессе ректификации. Оптимизация установок первичной переработки нефти всегда оставалась и остаётся непростой задачей. Это связано со сложностью ректификации непрерывных смесей, к которым относится нефть. Установки перегонки нефти являются первыми в цепочке многоступенчатой переработки и перерабатывают весь колоссальный объём сырой нефти, поступающей на нефтеперерабатывающие заводы [1].

Современные и наиболее технологичные схемы установок первичной перегонки нефти обязательно включают в себя

первую отбензинивающую колонну. Применение предварительного отбензинивания положительно сказывается на работе всей установки, приводит к повышению степени извлечения основных топливных фракций из нефти [2]. Исследованию влияния режима работы отбензинивающей и атмосферной колонн на показатели процесса перегонки посвящено немалое число работ [3, 4].

В предыдущей работе авторами было исследовано влияние степени извлечения ключевой фракции в дистиллят при постоянной глубине отбензинивания на основные показатели работы колонны [5].

Цель исследования: исследование глубины отбензинивания нефти на следующие параметры процесса ректификации: минимальное число теоретических тарелок N_{\min} , минимальное R_{\min} и оптимальное $R_{\text{опт}}$ флегмовое число, число рабочих тарелок в верхней концентрационной $N_{\text{в}}$ и нижней отгонной $N_{\text{н}}$ частях колонны, температуры верха $t_{\text{в}}$ и низа $t_{\text{н}}$ колонны, количество подводимого тепла в куб колонны $Q_{\text{в}}$, необходимый диаметр колонны D .

Материалы и методы исследования

В качестве сырья отбензинивающей колонны использовалась товарная нефть Западно-Сибирских месторождений. Температура ввода нефти в колонну составляла 220 °С, среднее абсолютное давление в колонне 0,45 МПа, производительность колонны по сырью 3,5 млн т/год. Глубина отбензинивания в работе оценивалась по увеличению температуры конца кипения отбираемого дистиллята в колонне. В качестве дистиллята отбензинивающей колонны был исследован отбор следующих фракций: н.к.-120 °С, н.к.-140 °С, н.к.-160 °С и н.к.-180 °С. Кроме этого, для каждого варианта дистиллята в колонне исследовалось влияние чёткости ректификации (степени извлечения ключевой фракции) φ в пределах от 0,7 до 0,95.

Исследуемые параметры процесса ректификации определяли методом температурной границы деления смеси. Сырьё колонны разделялось на узкие фракции с долями X'_{Fi} . В зависимости от глубины отбензинивания изменялось и количество отбираемых в дистиллят узких фракций – мольная доля отбора E' . Чёткость ректификации φ оценивалась по доле извлечения самой тяжёлой узкой фракции, отбираемой в дистиллят. При каждом значении E' и φ мольная доля этой фракции в дистилляте X'_{Di} и в остатке X'_{wi} составляла соответственно

$$X'_{Di} = \frac{\varphi \cdot X'_{Fi}}{E'}, \quad X'_{wi} = \frac{(1-\varphi) \cdot X'_{Fi}}{1-E'}$$

При заданных параметрах работы колонны определялись температуры кипения узких фракций, располагающихся по разные стороны границы деления сырья. Истинная температурная граница деления смеси T_E , находящаяся в этом интервале, соответствует условию

$$\sum X'_{Di} = 1, \quad \sum X'_{wi} = 1.$$

Фракционный состав дистиллята и остатка определялся, исходя из значений коэффициентов летучести узких фракций α_i и значений параметров распределения ψ_i .

Минимальное число теоретических ступеней в колонне N_{\min} :

$$N_{\min} = \frac{\lg \psi_i}{\lg \alpha_i}.$$

Параметры распределения узких фракций:

$$\psi_i = \alpha_i^{N_{\min}}.$$

Значения температур верха колонны $t_{\text{в}}$ и низа $t_{\text{н}}$ определялись из уравнений изотерм паровой и жидкой фаз. Минимальное флегмовое число R_{\min} :

$$\sum \frac{\alpha_i \cdot X'_{Fi}}{\alpha_i - \Theta} = R_{\min} + 1,$$

где Θ – параметр, значение его находится между величинами коэффициентов летучести узких фракций по разные стороны границы деления смеси. По методу Джиллиленда определялось оптимальное $R_{\text{опт}}$ флегмовое число. Исходя из $R_{\text{опт}}$ определялись значения оптимального числа контактных ступеней в колонне $N_{\text{опт}}$ и рабочее число этих ступеней $N_{\text{раб}}$. Необходимое количество тепла для подвода в низ колонны $Q_{\text{в}}$ следовало из теплового баланса. По объёмному расходу паровой фазы в колонне определялся необходимый диаметр D_k колонны.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1–4 и на рис. 1–5 приведены основные результаты работы.

Результаты исследования показали, что увеличение температуры конца кипения дистиллята отбензинивающей колонны, то есть повышение глубины отбензинивания, влияет на все основные показатели работы ректификационной колонны.

Минимальное R_{\min} и оптимальное $R_{\text{опт}}$ флегмовые числа в колонне с увеличением чёткости ректификации изменяются разнонаправленно. Например, при отборе дистиллята н.к.-140 °С R_{\min} увеличивается с 0,3 до 0,7, а $R_{\text{опт}}$ снижается от 3,7 до 2,5 (табл. 2). Снижение оптимального флегмового числа связано с уменьшением количества отбираемого более чистого дистиллята. При этом также снижаются эксплуатационные затраты на создание необходимого количества флегмы на веру колонны. С повышением глубины отбензинивания нефти и неизменной чёткости ректификации наблюдается обратная картина. Так, при $\varphi = 0,9$ R_{\min} уменьшается с 0,8 до 0,4, а $R_{\text{опт}}$ повышается от 2,4 до 3,2 (рис. 2, 3). Рост величины оптимального флегмового числа в этом случае связан с увеличением температуры конца кипения дистиллята и, следовательно, массового расхода верхнего продукта.

Необходимое минимальное число теоретических тарелок N_{\min} в колонне с повышением чёткости ректификации с 0,7 до 0,95 увеличивается более чем в три раза, независимо от состава дистиллята. Так, при отборе дистиллята н.к.-120 °С N_{\min} увеличивается с 4 до 14 (табл. 1). Но при неизменной чёткости ректификации минимальное число тарелок остаётся практически на одном уровне независимо от состава дистиллята. Например, N_{\min} при чёткости ректификации $\varphi = 0,8$ с увеличением глубины отбензинивания составляет соответственно 6,98; 7,05;

7,24 и 7,33 (рис. 1). Рабочее число тарелок в колонне, так же как и минимальное число тарелок, неизменно увеличивается с повышением чёткости ректификации. Это относится и к концентрационной и к отгонной

части колонны. Например, число тарелок в верхней части колонны увеличивается с 8 до 27 с повышением чёткости ректификации от 0,7 до 0,95 и отборе дистиллята н.к.-180°C (табл. 4).

Таблица 1
Показатели работы отбензинивающей колонны с дистиллятом н.к.-120°C

ϕ	N_{\min}	R_{\min}	$R_{\text{опт}}$	$N_{\text{в}}$	$N_{\text{н}}$	$D, \text{ м}$	$Q_{\text{в}}, \text{ МВт}$	$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	$N_{\text{раб}}$
0,70	4,38	0,50	3,02	10	8	3,33	40,7	128	312	18
0,75	5,62	0,60	2,76	13	9	3,17	39,9	126	314	22
0,80	6,98	0,68	2,60	16	12	3,07	39,4	125	315	28
0,85	8,62	0,76	2,49	20	14	3,00	39,0	124	315	34
0,90	10,81	0,84	2,39	24	18	2,94	38,6	123	315	42
0,95	14,40	0,91	2,32	31	23	2,90	38,4	122	316	54

Таблица 2
Показатели работы отбензинивающей колонны с дистиллятом н.к.-140°C

ϕ	N_{\min}	R_{\min}	$R_{\text{опт}}$	$N_{\text{в}}$	$N_{\text{н}}$	$D, \text{ м}$	$Q_{\text{в}}, \text{ МВт}$	$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	$N_{\text{раб}}$
0,70	4,32	0,34	3,66	10	8	4,18	51,6	146	331	18
0,75	5,60	0,43	3,19	12	10	3,84	49,6	143	333	22
0,80	7,05	0,51	2,92	15	13	3,65	48,4	142	334	28
0,85	8,80	0,59	2,73	18	16	3,51	47,6	141	334	34
0,90	11,11	0,66	2,60	22	20	3,42	47,0	140	335	42
0,95	14,83	0,73	2,49	30	26	3,34	46,5	139	335	56

Таблица 3
Показатели работы отбензинивающей колонны с дистиллятом н.к.-160°C

ϕ	N_{\min}	R_{\min}	$R_{\text{опт}}$	$N_{\text{в}}$	$N_{\text{н}}$	$D, \text{ м}$	$Q_{\text{в}}, \text{ МВт}$	$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	$N_{\text{раб}}$
0,70	4,35	0,22	4,72	9	9	5,56	66,1	163	351	18
0,75	5,71	0,31	3,79	11	11	4,76	61,1	161	352	22
0,80	7,24	0,38	3,30	14	14	4,36	58,4	159	353	28
0,85	9,06	0,45	3,05	18	18	4,16	57,1	158	354	36
0,90	11,46	0,52	2,85	21	23	3,99	56,0	157	354	44
0,95	15,32	0,58	2,70	28	30	3,87	55,2	157	355	58

Таблица 4
Показатели работы отбензинивающей колонны с дистиллятом н.к.-180°C

ϕ	N_{\min}	R_{\min}	$R_{\text{опт}}$	$N_{\text{в}}$	$N_{\text{н}}$	$D, \text{ м}$	$Q_{\text{в}}, \text{ МВт}$	$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	$N_{\text{раб}}$
0,70	4,28	0,12	7,43	8	10	9,69	93,2	181	370	18
0,75	5,72	0,20	4,91	10	12	6,47	77,0	178	372	22
0,80	7,33	0,28	4,00	13	15	5,53	71,2	176	373	28
0,85	9,25	0,34	3,51	16	20	5,05	68,1	175	374	36
0,90	11,75	0,41	3,20	21	25	4,76	66,2	175	374	46
0,95	15,76	0,47	2,97	27	33	4,54	64,7	174	374	60

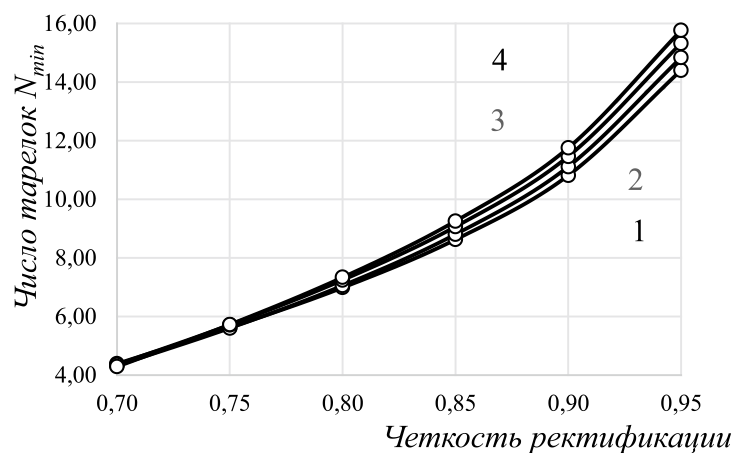


Рис. 1. Влияние глубины отбензинивания и чёткости ректификации на минимальное число теоретических тарелок (N_{min}) при отборе дистиллята: 1 – н.к. -120°C, 2 – н.к. -140°C, 3 – н.к. -160°C, 4 – н.к. -180°C

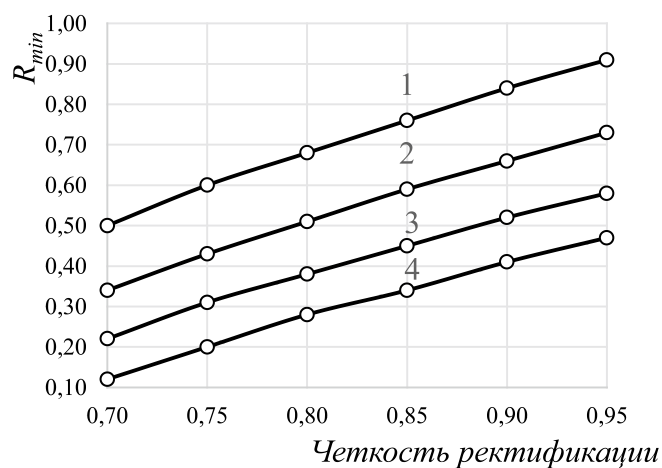


Рис. 2. Влияние глубины отбензинивания и чёткости ректификации на минимальное флегмовое число (R_{min}) при отборе дистиллята: 1 – н.к. -120°C, 2 – н.к. -140°C, 3 – н.к. -160°C, 4 – н.к. -180°C

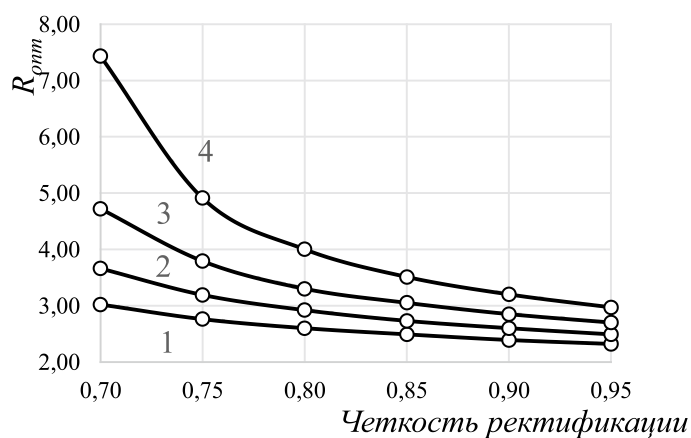


Рис. 3. Влияние глубины отбензинивания и чёткости ректификации на оптимальное флегмовое число (R_{opt}) при отборе дистиллята: 1 – н.к. -120°C, 2 – н.к. -140°C, 3 – н.к. -160°C, 4 – н.к. -180°C

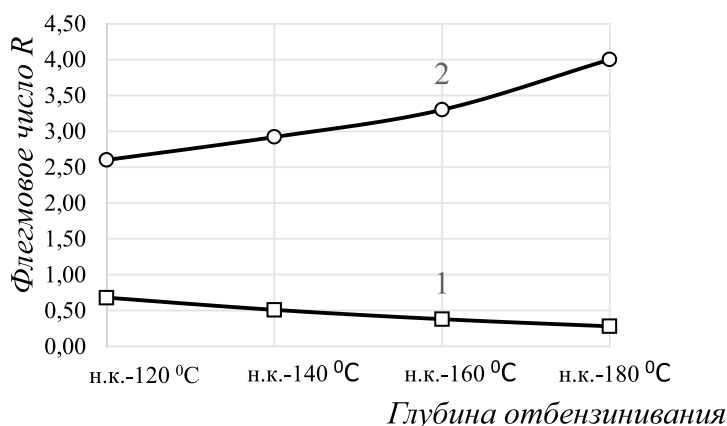


Рис. 4. Влияние глубины отбензинивания на флегмовое число при чёткости ректификации $\varphi = 0,8$: 1 – минимальное флегмовое число (R_{min}), 2 – оптимальное флегмовое число (R_{opt})

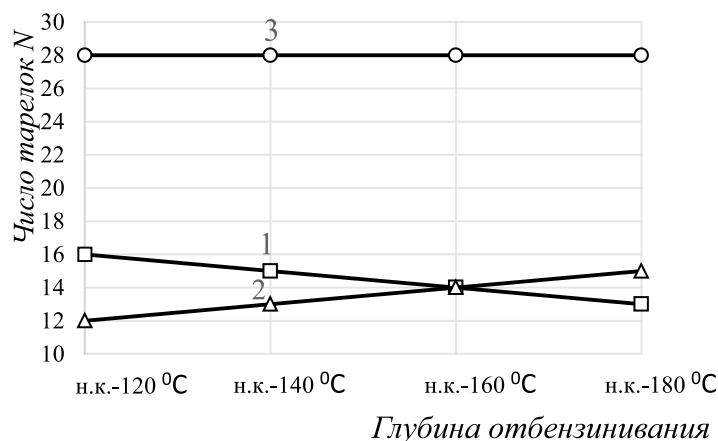


Рис. 5. Влияние глубины отбензинивания на число тарелок при чёткости ректификации $\varphi = 0,8$: 1 – число тарелок в верхней части колонны (N_{top}), 2 – число тарелок в нижней части колонны (N_{bottom}), 3 – общее число тарелок (N_{total})

Увеличение глубины отбензинивания при неизменной чёткости ректификации приводит к снижению необходимого числа тарелок в верхней части колонны и к повышению этого числа в нижней части. Так, при чёткости ректификации 0,95 число тарелок в верхней части колонны снижается с 31 до 27, а в нижней – увеличивается с 23 до 33. Из этого следует, что с утяжелением дистиллята место ввода сырья должно больше смещаться вверх по высоте колонны. Общее число тарелок в колонне N_{total} при невысоких значениях чёткости ректификации (0,7...0,8) практически не зависит от глубины отбензинивания и составляет 18; 22; 28 соответственно для $\varphi = 0,7$; 0,75; 0,8. Для высоких значений φ общее число тарелок увеличивается с глубиной отбензинивания. Так, N_{total} повышается в этом случае с 54 до 60 при чёткости ректификации 0,95. Необ-

ходимый диаметр колонны неизменно снижается с повышением чёткости ректификации. Например, с дистиллятом н.к.-160 °C диаметр уменьшается с 5,6 до 3,9 м, что связано с уменьшением объёмного расхода паровой фазы в колонне, который, в свою очередь, зависит от расхода дистиллята. С повышением глубины отбензинивания при постоянном значении φ необходимый диаметр колонны увеличивается, так как повышается массовое количество отбираемого дистиллята и, следовательно, количество паров в верхнем сечении колонны. Так, с утяжелением дистиллята при $\varphi = 0,85$ необходимый диаметр колонны увеличивается с 3 до 5 м.

Расход тепла на обогрев куба колонны $Q_{в}$ неизменно снижается с повышением чёткости ректификации (например, с 40,7 до 38,4 МВт при дистилляте н.к.-120 °C), что свя-

зано со снижением количества дистиллята и объёмного расхода паровой фазы в колонне. С увеличением глубины отбензинивания расход тепла повышается, так как повышается массовый расход отбираемого дистиллята и необходимо создать больший расход паров в колонне. Например, в этом случае Q_v увеличивается с 39 до 68,1 МВт при чёткости ректификации $\varphi = 0,85$. Увеличение Q_v при утяжелении дистиллята приводит к росту энергозатрат на процесс перегонки. Необходимые температуры верха t_v и низа t_n колонны с повышением чёткости ректификации меняются разнонаправленно: t_v неизменно снижается, а t_n повышается. Так, при отборе дистиллята н.к.-160 °С температура верха снижается от 163 до 157 °С, а температура низа колонны повышается с 351 до 355 °С. Увеличение глубины отбензинивания при прочих равных условиях требует повышения и температуры верха и температуры низа колонны. При данных условиях и постоянной чёткости ректификации $\varphi = 0,85$ необходимая температура верха повышается от 124 до 175 °С, а температура низа – с 315 до 374 °С.

Выводы

В работе установлено, что с увеличением глубины отбензинивания нефти изменяются следующие параметры работы ректификационной колонны: снижается минимальное флегмовое число и число рабочих тарелок в концентрационной части колонны. При этих же условиях, но в сторону увеличения изменяются следующие параметры: оптимальное флег-

мовое число, число рабочих тарелок в отгонной части колонны, необходимый диаметр обечайки, температуры верха и низа колонны, количество подводимого тепла в куб колонны. Установлено, что общее число тарелок в колонне остаётся на одном уровне при невысоких значениях чёткости ректификации независимо от глубины отбензинивания. При высокой чёткости ректификации суммарное количество тарелок увеличивается с утяжелением отбираемого дистиллята. В работе показано, что при неизменной чёткости ректификации с увеличением глубины отбензинивания точка ввода сырья в колонну должна смещаться вверх по высоте колонны.

Список литературы

1. Асагрян А.А., Ясьян Ю.П. Обзор технологических аспектов режима работы АВТ с учетом особенностей планирования производственной деятельности // Успехи современной науки. 2017. Т. 2. № 5. С. 78–81.
2. Зиятдинов Н.Н., Богула Н.Ю., Островский Г.М. О подходе к решению задачи оптимального проектирования системы ректификационных колонн методом ветвей и границ // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. Т. 2. № 10 (44). С. 13–16.
3. Башаров М.М., Афанасьев Е.П. Решение задач по модернизации и повышению эффективности установок в нефтегазопереработке // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. 2015. № 11–1. С. 62–66.
4. Пикалов И.С., Овчаров С.Н., Алференко С.В. Влияние глубины предварительного отбензинивания нефти на показатели атмосферной перегонки // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2010. № 4. С. 78–85.
5. Савченков А.Л., Мозырев А.Г., Маслов А.А. Влияние степени извлечения ключевой фракции на показатели процесса ректификации при отбензинивании нефти // Фундаментальные исследования. 2018. № 2. С. 34–38.