

УДК 665.632.074

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА
ОЧИСТКИ ГАЗА ОТ КИСЛЫХ ПРИМЕСЕЙ**

**WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE PROCESS GAS
PURIFICATION FROM ACIDIC IMPURITIES**

**Пангаева Н. А., Ильчибаева А. К., Руднев Н. А.,
Абызгильдин А. Ю.**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

**N. A. Pangaeva, A. K. Pchibaeva, N. A. Rudnev,
A. Yu. Abyzgildin**

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, the Russian Federation**

e-mail: infair@yandex.ru

Аннотация. Самым распространенным методом очистки газа от кислых примесей является очистки с помощью аминов – природных органических соединений, являющихся производной аммиака. Очистка амином представляет собой регенеративный процесс. Поглощение кислых загрязняющих веществ происходит примерно при температуре окружающей среды, а регенерация амина происходит при температуре кипения в отпарной колонне. Недостатком процесса очистки природных и технологических газов от кислых примесей является большое количество теплоты, необходимое для десорбции. Наиболее распространенный и эффективный метод очистки газа в настоящее время – очистка с использованием алканоламинов. Этот процесс отличается возможностью достижения высокой степени очистки при сравнительно невысоких

расходах реагента. Различные схемы очистки газа, направленные на уменьшение теплового потока подаваемого в низ отпарной колонны, были смоделированы в пакете Unisim Design: стандартный процесс, деление потоков, паровая рекомпрессия, их комбинация. Также предлагается схема очистки при использовании смеси аминов (ДЭА+МДЭА). Метод комбинирования схем и деление потока позволяет снизить тепловую нагрузку по сравнению с методом замены моноэтаноламина на 23%, но метод паровой рекомпрессии имеет меньшую тепловую нагрузку по сравнению с заменой моноэтаноламина – на 30%. При этом другие варианты изменения технологических схем связаны с большими капитальными затратами. Таким образом, предлагаемая схема с паровой рекомпрессией позволит снизить тепловую нагрузку при относительно небольших капитальных затратах.

Abstract. The most common method of gas purification from acidic impurities is cleaning with amines-natural organic compounds that are derivative of ammonia. Amine purification is a regenerative process. Absorption of acidic pollutants occurs approximately ambient temperature Wednesday, and Amina regeneration occurs at boiling point in stripping column. The disadvantage of the process natural and technological gases from acidic impurities is the large amount of heat required to desorption. The most common and effective method for purification of gas currently cleaning using alkanolaminov. This process differs with the opportunity to achieve a high degree of purification at relatively low cost. Gas purification schemes to reduce heat flow supplied to the bottom of the stripping column, were simulated in the package Unisim Design: standard process flows, Division steam, their combination of recompression. Also offers purification scheme when using a mixture of amines (DEA + MDEA). Method of combining schemes and Division of flow helps reduce the heat load compared with the method of replacing monoethanolamine on 23%, but the method of steam recompression has a lower heat load compared with replacement of monoethanolamine-on

30%. Other options for change process flow diagrams are associated with large capital costs. Thus, the proposed scheme with steam recompression will reduce the heat load with relatively small capital cost.

Ключевые слова: абсорбция, аминовая очистка, кислые газы, регенерация, энергоэффективность, моделирование, оптимизация.

Key words: absorption, amine scrubbing, acid gases, regeneration, energy efficiency, simulation, optimization.

Природный газ содержит в своем составе метан, который составляет его основу (порядка 85%) и более тяжелые углеводороды, такие как этан, пропан, бутан и изобутан. Также содержится ряд и других примесей неорганического происхождения, так называемых кислых газов-диоксида углерода и сероводорода.

Эти примеси должны быть удалены из газа перед его дальнейшим использованием, так как они снижают технологические характеристики продукта, такие как реакционная способность, и обладают мощным коррозионным эффектом, что приводит к разрушению труб и аппаратов [1, 2].

Наиболее распространенный и эффективный метод очистки газа в настоящее время – очистка с использованием алканоломинов. Этот процесс отличается возможностью достижения высокой степени очистки при сравнительно невысоких расходах реагента. Однако, основным недостатком процесса является большое количество теплоты, необходимое для отпарки раствора амина в десорбере. В данной статье рассмотрены пути модернизации процесса, предложенные схемы были смоделированы в пакете Unisim Design.

Стандартный процесс очистки состоит из простого абсорбера и десорбера. Традиционная альтернатива – это деление потоков (рисунок 1). Частично регенерированный амин (полутощий) откачивается насосом из

середины колонны-десорбера и подается в середину абсорбера, полностью регенерированный амин подается на верхнюю тарелку абсорбера. Эффективность процесса в том, что часть кислых газов может быть удалена с помощью частично регенерированного амина, что подразумевает меньшие затраты для регенерации [3, 4, 5, 6].

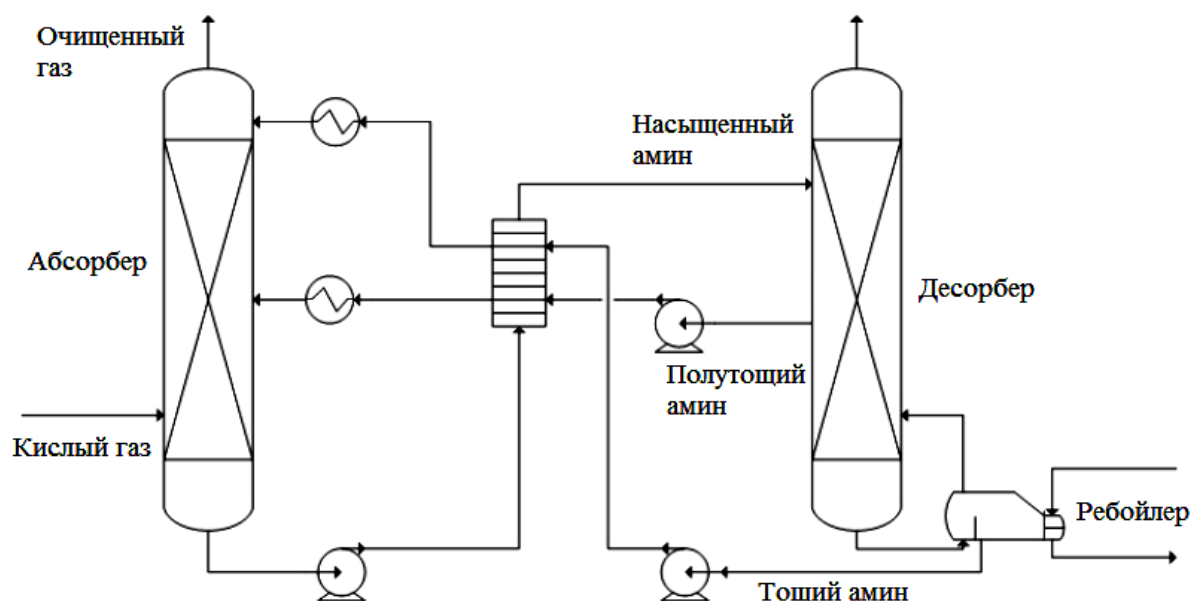


Рисунок 1. Схема очистки с использованием деления потоков

На рисунке 2 представлена схема с использованием паровой рекомпрессии. Поток регенерированного амина после десорбера направляется в сепаратор, предварительно понижается давление. Жидкость из сепаратора – тощий амин, который рециркулируется обратно в абсорбер. Паровая фаза компримируется и возвращается в десорбер как дополнительный поток питания. Паровая рекомпрессия производит регенерированный амин с меньшим содержанием кислых газов, что помогает повысить степень очистки в абсорбере.

Также вероятно использование комбинации двух предыдущих технологий, при этом уменьшается компрессорный эффект, который оказывает влияние при использовании паровой рекомпрессии.

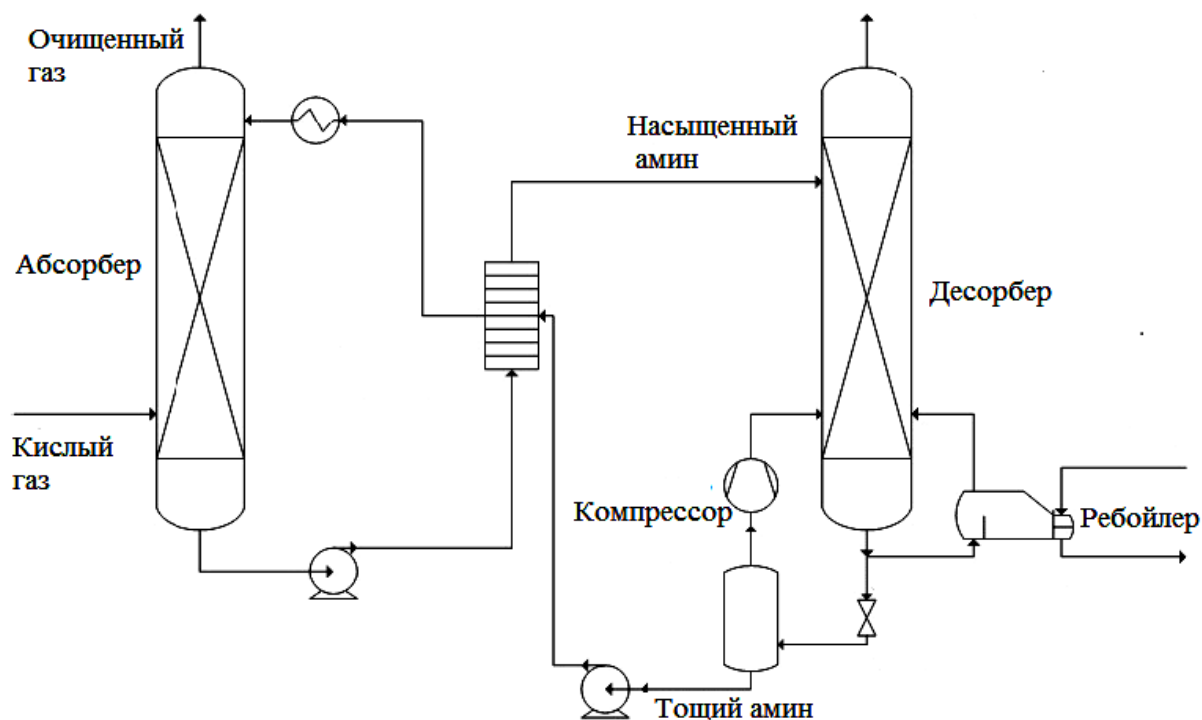


Рисунок 2. Схема очистки с использованием паровой рекомпрессии

Полутощий амин из середины десорбера направляется в середину абсорбера, тощий амин направляется вверх. При этом, поток тощего амина делится на два потока. Первый рециркулируется в середину абсорбера (в качестве полутощего амина), второй направляется в сепаратор, жидкая фаза попадает вверх абсорбера [3]. Схема представлена на рисунке 3.

В последние несколько лет повысилось внимание к использованию различных смесей аминов. В большинстве исследований, смесь содержит метилдиэтаноламин (МДЭА) в качестве базы с добавлением более реакционноспособных (МЭА или ДЭА).

МДЭА, зачастую, используется для селективной очистки потока газа от сероводорода, при этом оставляя заметное количество углекислого газа. Такая селективность объясняется тем, что МДЭА взаимодействует с CO_2 очень медленно. Добавление другого амина позволяет избежать этой проблемы.

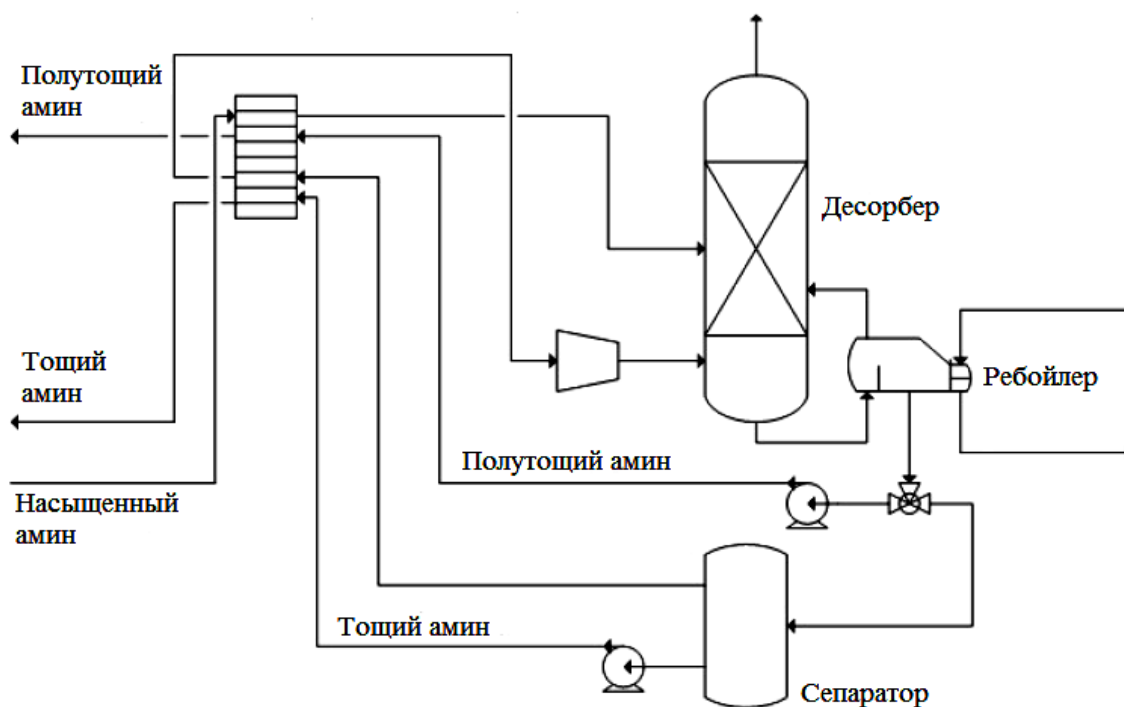


Рисунок 3. Схема с комбинацией деления потоков и рекомпрессии

Несмотря на то, что смесь аминов несколько уступает в качестве очистки, она имеет ряд преимуществ: меньшая коррозионная активность, меньшее пенообразование, меньший унос, вследствие большей температуры кипения, большая степень насыщения и, как следствие, меньший расход.

Предлагается три различных соотношения аминов: 40% МДЭА и 5% ДЭА, 30% МДЭА и 10% ДЭА, 20% МДЭА и 10% ДЭА [7].

Результаты моделирования представлены далее. Все методы, изложенные в теоретической части, были смоделированы в пакете UnisimDesign. Программа подразумевает расчет процесса очистки газа от кислых примесей, поэтому в качестве расчетного пакета был выбран AminePackage. Данные о составе газа были взяты из литературы [1, 8, 9, 10]. Другие данные, необходимые для моделирования приведены в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1. Спецификации для расчета процесса

Параметр	Значение
Температура газа	42 °С
Давление газа	1,1 бар
Расход газа	108600 кмоль/час
Содержание кислых газов	5,12 мол %
Температура амина	44 °С
Давление амина	1,01 бар
Расход амина	70000 кмоль/час
Содержание МЭА в растворе амина	15-29 %
Давление в десорбере	0,12 МПа
Температура насыщенного амина	90 °С
Температура ребойлера	124 °С

Таблица 2. Состав газового сырья абсорбера

Компонент	Содержание в сырье y'_i , % (об. доли)	Количество V_{ci} , м ³ /ч
CH ₄	73,4	24847,9
C ₂ H ₆	9,8	3318,9
C ₃ H ₈	7,5	2539,1
C ₄ H ₁₀	8,3	2810,2
H ₂ S	0,8	269,8
CO ₂	0,2	67,7
Итого:	100,0	33853,7

Таблица 3. Состав регенерированного водного раствора моноэтаноламина

Компонент	Молекулярная масса М	Содержание c_i , масс.
H ₂ O	18,0	0,8498
МЭА	61,1	0,1500
H ₂ S	34,0	0,0001
CO ₂	44,0	0,0001
Итого:	-	1,0000

Содержание диоксида углерода в очищенном газе не должно превышать 0,007 об. долей, а содержание сероводорода должно быть не более 0,0015 об. долей.

Ниже приведены изображения схем 11 – (рисунок 4), 12 – (рисунок 5), рассчитанные в Unisim Design.

Схема с применением смеси аминов (МДЭА и ДЭА) не отличается по аппаратному оформлению от стандартной, поэтому отдельно не приведена.

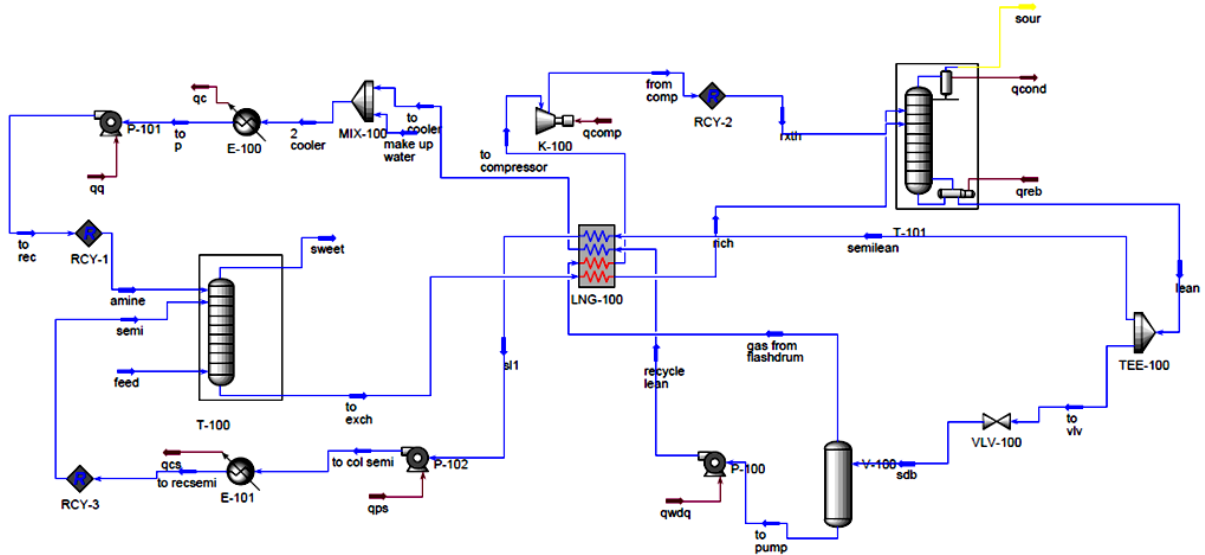


Рисунок 4. Стандартная схема процесса

Далее приведена схема с делением потоков. Наглядно можно наблюдать предлагаемые изменения.

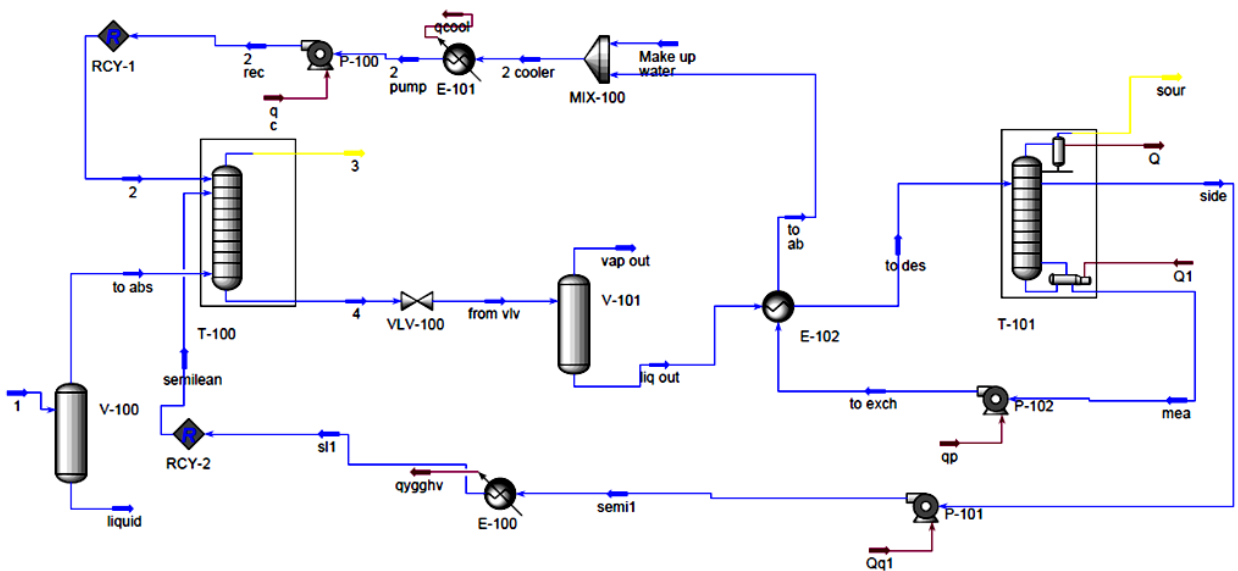


Рисунок 5. Схема с делением потоков

Применение паровой рекомпрессии подразумевает установку дополнительного оборудования. Необходимые сепаратор, клапан и компрессор показаны на схеме (рисунок 6).

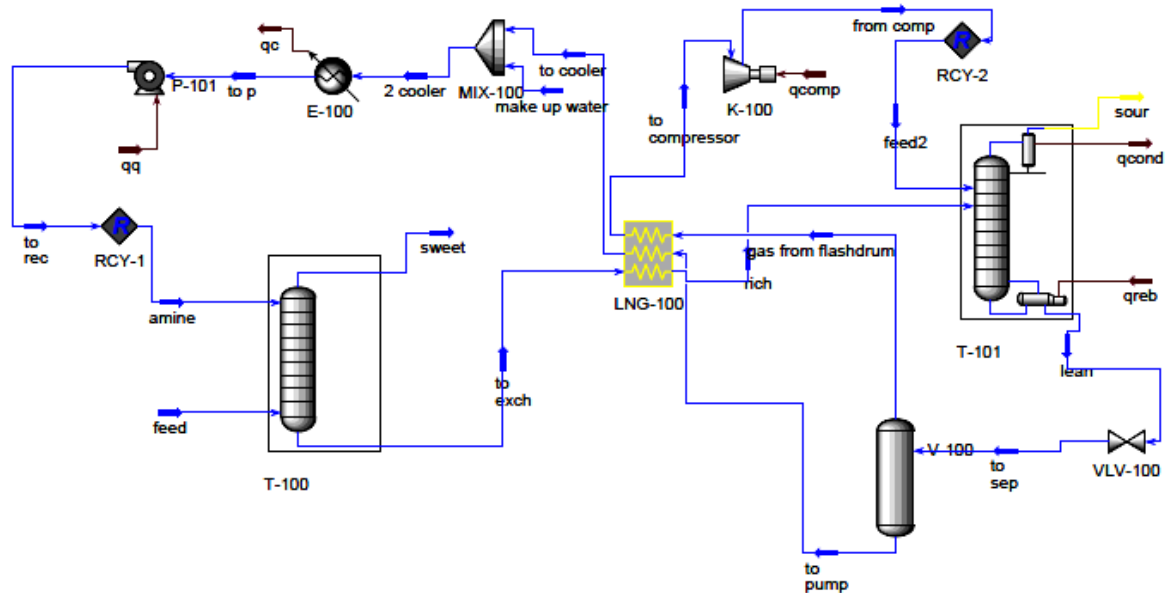


Рисунок 6. Схема с паровой рекомпрессией

Комбинация деления потоков и паровой рекомпрессии представляет собой совмещение схем, приведенных на рисунках 5 и 6 (рисунок 7).

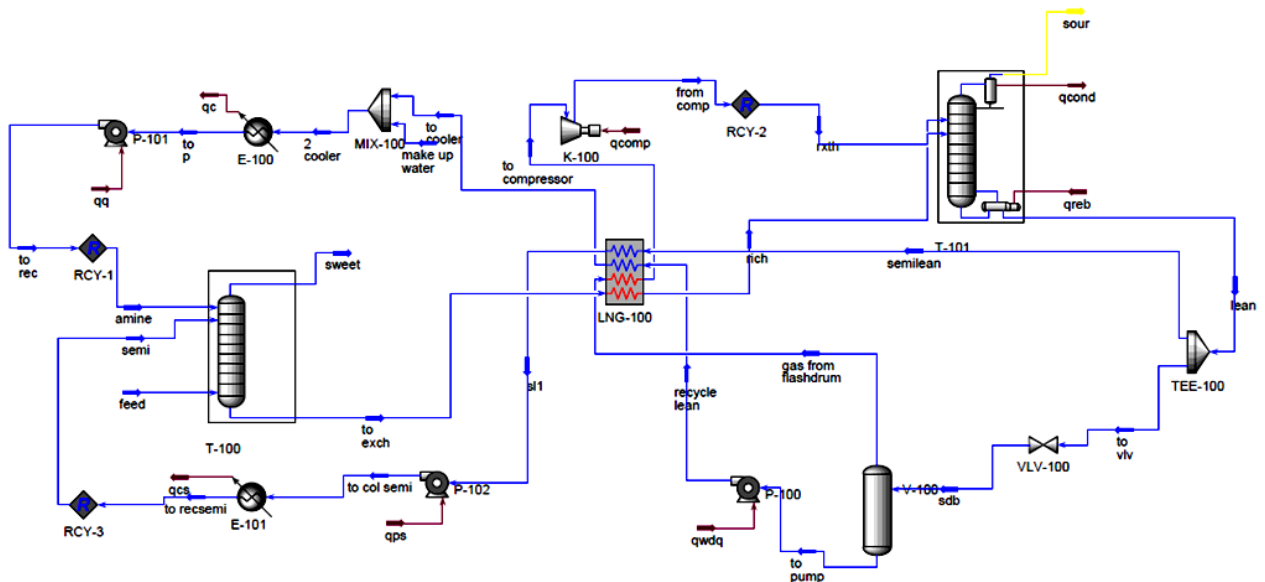


Рисунок 7. Комбинированная схема

В ходе моделирования были рассмотрены различные конфигурации, позволяющие усовершенствовать процесс очистки газа от кислых примесей.

По результатам проделанной работы проведено сравнение всех методов, представленных в таблице 4. Помимо наиболее энергоэффективной схемы, была определена наилучшая концентрация смеси МДЭА и ДЭА, которая составила 40% МДЭА и 5% ДЭА. Данный результат отличается от качества очистки МЭА на 0,132%, однако имеет ряд преимуществ, описанных ранее.

Таблица 4. Сравнительный анализ методов

Параметры сравнения	Модификация			
	Замена амина	Паровая рекомпрессия	Деление потока	Комбинированная схема
Тепловая нагрузка, кг/ч	9582,90	6783,40	7356,18	7333,03
Изменения в схеме	Замена МЭА на МДЭА+ДЭА, добавление 2-х сепараторов	Переобвязка оборудования, добавление сепаратора, клапана, компрессора, LNG сепаратора	Переобвязка оборудования, добавление насоса, холодильника, LNG сепаратора	Переобвязка оборудования, добавление сепаратора, 2-х насосов, клапана, компрессора, холодильника, тройника, LNG сепаратора
Плюсы	Меньшее пенообразование и коррозионная активность, нет уноса амина, дешевле МЭА, большая степень насыщения	Расход пара значительно меньше, чем в стандартном процессе: наименьшая тепловая нагрузка	Расход пара чуть меньше, чем при стандартном процессе	Расход пара меньше, чем при стандартном процессе
Минусы	Качество очистки хуже стандартного процесса, очень большая тепловая нагрузка	Большие капитальные затраты	Тепловая нагрузка практически не изменилась, при больших капитальных затратах	Затраты на добавление дополнительного оборудования

Также был рассчитан расход пара в каждой схеме. Было установлено, что при использовании технологии паровой рекомпрессии достигается наибольшая энергоэффективность процесса, расход пара, подаваемого в десорбер уменьшается на 10,7%.

Выводы

Из таблицы 4 видно, метод комбинирования схем и деление потока позволяет снизить тепловую нагрузку по сравнению с методом замены моноэтаноламина на 23%, но метод паровой рекомпрессии имеет меньшую тепловую нагрузку по сравнению с заменой моноэтаноламина – на 30%. При этом другие варианты изменения технологических схем связаны с большими капитальными затратами. Таким образом, предлагаемая схема с паровой рекомпрессией позволит снизить тепловую нагрузку при относительно небольших капитальных затратах.

Список используемых источников

- 1 Кузнецов А. А., Судаков Е. Н. Расчеты основных процессов и аппаратов переработки углеводородных газов: справочное пособие М.: Химия, 1983. 224 с.
- 2 Мурин В. И. Технология переработки природного газа и конденсата: справочник. Ч. 1. М.: Недра, 2002. 517 с.
- 3 Oi L.E. Optimization of configurations for amine based CO₂ absorption using Aspen HYSYS, L. E. Oi, T. Brathen, C. Berg, S.K. Brekne, M. Flatin, Energy Procedia. 2014, No 51. pp. 224-233.
- 4 Nasir M.A. Optimization and performance improvement of Lekhwair natural gas sweetening plant using Aspen HYSYS/ M. A. Nasir, Al-Habsi Sultan, A. O. Sagheer// Journal of Natural Gas Science and Engineering -2015, No 26.
- 5 Чеботарёв В. В., Хафизов А. Р., Абызгильдин А. Ю. Процессы абсорбционного разделения при подготовке газа: учеб. пособие. Уфа: изд-во УГНТУ, 1997. 140 с.

6 Абызгильдин А. Ю. Графический анализ технологических схем процессов химической абсорбции // Изв. высших учебных заведений. Нефть и газ. 1998. № 2. С. 93-100.

7 Sohbi B. The Using of Mixing Amines in an Industrial Gas Sweetening Plant, B. Sohbi, M. Meakaff, M. Emtir, M. Elgarni World Academy of Science, Engineering and Technology, 2007.

8 Аппарат однократной абсорбции высококипящих компонентов из попутного нефтяного газа / Д. Х. Каеем, Т. Г. Умергалин, В. П. Захаров, Ф. Б. Шевляков // Изв. высших учебных заведений. Нефть и газ. 2009. № 1. С. 32-34.

9 Мурзабеков Б. Е., Умергалин Т. Г. Стабилизация газового конденсата // Изв. высших учебных заведений. Нефть и газ. 2011. № 4. С. 82-85.

10 Умергалин Т. Г., Шамова Н. А., Гареева И. Ю. Учебно-методическое пособие к выполнению лабораторных работ по курсу «Моделирование процессов массопередачи» Уфа: УГНТУ, 2014. 36 с.

11 Гафаров Ш. А., Руднев Н. А. Графические модели процессов переработки природного газа оренбургского гелиевого и газоперерабатывающего заводов. Уфа, 2007. 200 с.

12 Абызгильдин А. Ю., Руднев Н. А. Использование метода графических моделей в информационных системах предприятий // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2004. № 2. С. 5.

References

1 Kuznecov A. A., Sudakov E. N. Raschety osnovnyh processov i apparatov pererabotki uglevodorodnyh gazov: spravocnoe posobie M.: Himiya, 1983. 224 s. [in Russian].

2 Murin V. I. Tehnologiya pererabotki prirodno gaza i kondensata: spravocchnik. Ch. 1. M.: Nedra, 2002. 517 s. [in Russian].

3 Oi L. E. Optimization of configurations for amine based CO₂ absorption using Aspen HYSYS / L. E. Oi, T. Brathen, C. Berg, S. K. Brekne, M. Flatin // Energy Procedia. 2014, No 51, pp. 224-233.

4 Nasir M. A. Optimization and performance improvement of Lekhwair natural gas sweetening plant using Aspen HYSYS/ M.A. Nasir, Al-Habsi Sultan, A. O. Sagheer// Journal of Natural Gas Science and Engineering -2015. No 26.

5 Chebotarev V. V., Hafizov A. R., Abyzgil'din A. Yu. Processy absorbcionnogo razdeleniya pri podgotovke gaza: ucheb. posobie. Ufa: Izd-vo UGNTU, 1997. 140 s. [in Russian].

6 Abyzgil'din A. Yu. Graficheskii analiz tehnologicheskikh shem processov himicheskoi absorbcii// Izv. vysshih uchebnyh zavedenii. Neft' i gaz. 1998. № 2. S. 93-100. [in Russian].

7 Sohbi V. The Using of Mixing Aminesinan Industrial Gas Sweetening Plant / B. Sohbi, M. Meakaff, M. Emtir, M. Elgarni // World Academy of Science, Engineering and Technology, 2007. [in Russian].

8 Apparat odnokratnoi absorbcii vysokokipyashih komponentov iz poputnogo neftyanogo gaza / D. H. Kaeem, T. G. Umergalin, V. P. Zaharov, F. B. Shevlyakov // Izv. vysshih uchebnyh zavedenii. Neft' i gaz. 2009. № 1. S. 32-34. [in Russian].

9 Murzabekov B. E., Umergalin T. G. Stabilizaciya gazovogo kondensata // Izv. vysshih uchebnyh zavedenii. Neft' i gaz. 2011. № 4. S. 82-85. [in Russian].

10 Umergalin T. G., Shamova N. A., Gareeva I. Yu. Uchebno-metodicheskoe posobie k vypolneniyu laboratornyh rabot po kursu «Modelirovanie processov massoperedachi»/ UGNTU. Ufa, 2014. 36 s. [in Russian].

11 Gafarov Sh. A., Rudnev N. A. Graficheskie modeli processov pererabotki prirodnogo gaza orenburgskogo gelievogo i gazopererabatyvayushego zavodov. Ufa, 2007. 200 s. [in Russian].

12 Abyzgil'din A. Yu., Rudnev N. A. Ispol'zovanie metoda graficheskikh modelei v informacionnyh sistemah predpriyatii // Neftegazovoe delo: elektron. nauch. zhurn. 2004. № 2. S. 5. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Пангаева Н. А., бакалавр гр. БТК-12-01, ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

N. A. Pangaeva, Bachelor of Group BTK-12-01 FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: pangnatali@mail.ru

Ильчибаева А. К., магистр гр. МТК-15-01 ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

A. K. Ilchibaeva, Master of MTC-15-01 Group FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: anastasiailch1@gmail.com

Руднев Н. А., канд. техн. наук, доцент кафедры «Химическая кибернетика» ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

N. A. Rudnev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair «Chemical Cybernetics» FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: ngb2008@mail.ru

Абызгильдин А. Ю., д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Инженерная графика» ФГБОУ ВО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

A. Yu. Abyzgildin, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Chair «Engineering Graphics» FSBEI HE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: infair@yandex.ru