

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ ОТ ПРОЕКТНЫХ УСЛОВИЙ

УДК 66.074

А.Б. Ганбаров, к.т.н., ДООАО «Газпроектинжиниринг» (Воронеж, РФ),
ganbarov@gasp.ru

Д.Н. Варламов, к.т.н., ДООАО «Газпроектинжиниринг», d.varlamov@gasp.ru

Д.Ю. Куликов, к.т.н., ДООАО «Газпроектинжиниринг», d.kulikov@gasp.ru

Г.В. Проскурин, ДООАО «Газпроектинжиниринг», g.proskurin@gasp.ru

В процессе эксплуатации ректификационных установок на газодобывающих и газоперерабатывающих предприятиях возникают проблемы, связанные с отклонением от проектных показателей состава пластовой продукции, поступающей на установку, и с необходимостью увеличения производительности установки. В целях поиска решений указанных проблем с помощью программного обеспечения Aspen HYSYS была смоделирована работа установки ректификации метанола из пластовой воды и определены оптимальные параметры ее работы. Данная установка предназначена для ректификации пластовой водно-метанольной смеси с получением метанола, соответствующего ТУ 2421-076-00151638-2007, и подтоварной воды с содержанием метанола не более 2 мас. %.

Моделирование работы ректификационной установки включало: определение технологических режимов работы ректификационной колонны, обеспечивающих заданное качество получаемых продуктов по верху и низу колонны; определение тепловых нагрузок на теплообменное оборудование; определение нагрузок по пару и жидкости, обеспечивающих стабильный гидравлический режим работы колонны. В целях приближения к реальным условиям работы колонны максимальное затопление тарелки принято 75 %, КПД реальных тарелок – 0,6.

В качестве оценочных критериев стабильного гидравлического режима работы ректификационной колонны использовали следующие: нахождение рабочей точки в области устойчивой работы тарелки; нагрузка на сливной стакан; нагрузка на сливную перегородку.

С учетом полученных результатов определены объемы работ по модернизации установки, показывающие возможность увеличения производительности установки до 40 % по сравнению с проектными показателями. Рассмотренный подход применим для проведения анализа вариантов увеличения производительности ректификационной установки путем сравнения CAPEX на модернизацию действующей установки относительно нового строительства или реконструкции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: РЕКТИФИКАЦИЯ ВОДНО-МЕТАНОЛЬНОЙ СМЕСИ, МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ, МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ.

Газодобывающие и газоперерабатывающие предприятия в процессе эксплуатации ректификационных установок сталкиваются с проблемами, связанными с отклонением от проектных показателей состава пластовой продукции, поступающей на установку, и с необходимостью увеличения производительности установки [1, 2].

Нашей инженеринговой компанией проведен анализ работы одной из таких установок, эксплу-

атирующейся на газодобывающем предприятии. В процессе эксплуатации установки произошло изменение содержания метанола в пластовой воде с проектных 50 до 65 мас. %, а также возникла потребность в увеличении нагрузки по сырью из-за возросшего количества пластовой воды, поступающей на предприятие.

Данная установка предназначена для ректификации пластовой водно-метанольной смеси с полу-

чением метанола, соответствующего ТУ 2421-076-00151638-2007 [3], и подтоварной воды с содержанием метанола не более 2 мас. %. Проектная производительность установки по сырью составляет 2700 кг/ч.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В целях определения диапазона устойчивой работы колонны нами проведен анализ режимов

Ganbarov A.B., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprojectengineering SOJSC (Voronezh, Russian Federation), ganbarov@gasp.ru

Varlamov D.N., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprojectengineering SOJSC, d.varlamov@gasp.ru

Kulikov D.Yu., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprojectengineering SOJSC, d.kulikov@gasp.ru

Proskurin G.V., Gazprojectengineering SOJSC, g.proskurin@gasp.ru

Determination of stable operation parameters of rectifying plant at deviation from the design conditions

During operation of rectifying plants at gas production and gas processing facilities, the problems emerge due to deviation from design parameters of composition properties of formation products delivered to the plant, and the need to boost up plant output. In order to find possible solutions to the mentioned problems, the operation of a plant of methanol rectification of produced water has been simulated with the use of Aspen HYSYS software, and its optimum parameters have been determined. The plant is designated for rectification of produced water-methanol mixture aimed at production of methanol met the Technical Specification TU 2421-076-00151638-2007, and bottom water with the methanol content not above 2 wt. %.

Simulation of of rectifying plant operation covered: determination of the rectifying tower process conditions ensuring predetermined quality of produced products on top and bottom of the tower; determination of heat duty on the heat-exchange equipment; determination of vapor and liquid capacity ensuring stable hydraulic control of the tower. The maximum flooding of the tray is taken 75 %, efficiency rate of real trays is 0.6 in order to approximate tower operation in real conditions. Criteria used of assessment of stable hydraulic control of the distilling tower were as follows: determination of a stable point in tray steady operation; downpipe load; discharge wall load.

Based on the results, the scope of work for plant upgrade has been established that revealed increase in productivity by 40 % as compared to the design parameters. The considered approach is applicable for the analysis of variants of the rectifying plant productivity increase by way of comparing CAPEX for the upgrade of the in-service plant against new construction or redesign.

KEYWORDS: FRACTIONING OF WATER-METHANOL MIXTURE, SIMULATION OF RECTIFYING PLANT OPERATION, UPGRADE OF RECTIFYING PLANT.

работы ректификационной установки при изменяющемся составе сырья с 30 до 65 мас. % в диапазоне нагрузок 2500–4500 кг/ч с использованием программного обеспечения Aspen HYSYS v. 10 [4].

Эксплуатируемая установка состоит из ректификационной колонны, рекуперативного теплообменника, конденсатора, термосифонного кипяильника и насосного оборудования. Основные характеристики технологического оборудования и параметры работы установки представлены в табл. 1. Технологическая модель процесса приведена на рис. 1.

Температура водно-метанольной смеси, подаваемой в колонну, принята 74 °С. Расчет фазового равновесия проводился по методике UNIQUAC. Моделирование работы ректификационной установки включало: определение технологических режимов работы ректификационной колонны, обеспечивающих заданное качество получаемых продуктов по верху и низу колонны; опре-

Таблица 1. Основные характеристики технологического оборудования
Table 1. Main characteristics of processing equipment

Параметр Parameter	Значение Value
Колонна ректификационная Rectifying tower	
Число теоретических тарелок, шт. Number of theoretical trays, units	12
Число практических тарелок, шт. Number of practical trays, units	20
Число тарелок питания, шт. Number of feed trays, units	8 или 10 8 or 10
Расстояние между клапанными тарелками в укрепляющей части, м Distance between valve trays in the rectifying profile, m	0,4
Расстояние между клапанными тарелками в исчерпывающей части, м Distance between valve trays in exhausting section, m	0,3
Диаметр колонны, м Tower diameter, m	1
Производительность по сырью, кг/ч Feed capacity, kg/h	2700
Конденсатор Condenser	
Максимальная тепловая нагрузка, кВт Maximum thermal load, kW	1075
Поверхность теплообмена, м ² Surface of heat exchange, m ²	850

(Продолжение табл. 1 – на с. 74)

(Продолжение табл. 1, начало – на с. 73)

Параметр Parameter	Значение Value
Кипятильник Reboiler	
Максимальная тепловая нагрузка, кВт Maximum heat duty, kW	1320
Поверхность теплообмена, м ² Surface of heat exchange, m ²	63
Рекуперативный теплообменник Recuperative heat exchanger	
Максимальная тепловая нагрузка, кВт Maximum heat duty, kW	145
Поверхность теплообмена, м ² Surface of heat exchange, m ²	32

деление тепловых нагрузок на теплообменное оборудование; определение нагрузок по пару и жидкости, обеспечивающих стабильный гидравлический режим работы колонны.

В целях приближения к реальным условиям работы колонны максимальное затопление тарелки принято 75 %, КПД реальных тарелок – 0,6.

В качестве оценочных критериев стабильного гидравлического режима работы ректификационной колонны использовали: нахождение рабочей точки в области устойчивой работы тарелки; нагрузку на сливной стакан; нагрузку на сливную перегородку.

Диаграмма результатов гидравлического расчета приведена на рис. 2. Результаты моделирова-

ния представлены в табл. 2 (здесь: F – производительность по сырью; C – концентрация метанола; R – флегмовое число; D – количество дистиллята; W – количество кубового продукта; Q_1 – нагрузка на конденсатор; Q_2 – нагрузка на кипятильник; Q_3 – нагрузка на рекуперативный теплообменник).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результату проведенного анализа определены допустимые режимы работы ректификационной колонны: максимально допустимая нагрузка по пару в укрепляющей секции колонны находится в диапазоне 5500–5800 кг/ч; максимально допустимая нагрузка по жидкости в исчерпывающей секции колонны – 6400–6950 кг/ч.

При этом было отмечено, что имеющееся теплообменное оборудование не обеспечивает работу колонны при максимально допустимых нагрузках по пару и жидкости. Необходимое увеличение мощности теплообменно-

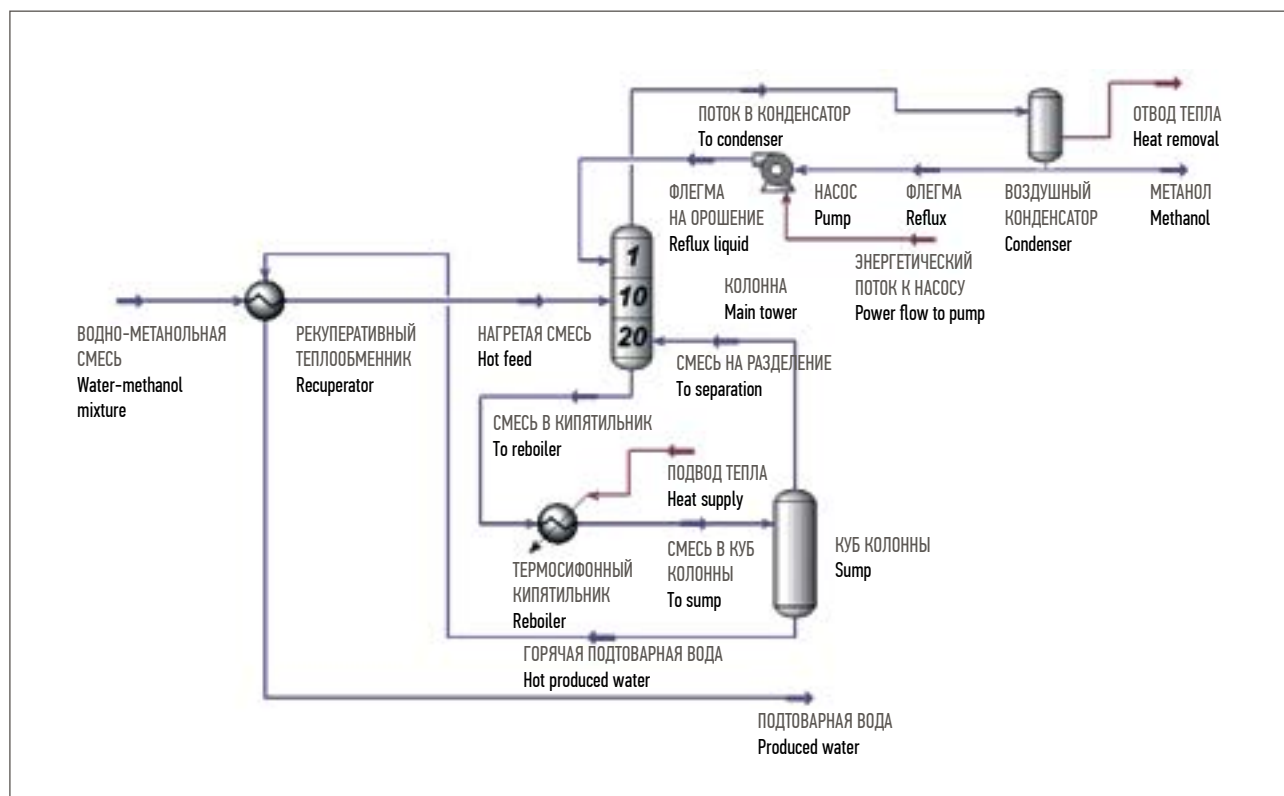


Рис. 1. Технологическая модель процесса ректификации (выполнено авторами по данным [4])
Fig. 1. Processes model of rectification (created by the authors according to [4])

го оборудования составляет: для конденсатора – 35 %; для кипяtilьника – 24 %; для рекуперативного теплообменника – 29 %.

Проведенный анализ работы ректификационной установки при различных режимах работы по питанию и концентрациям компонентов в сырье показал возможность увеличения производительности установки до 40 % относительно проектных показателей. Модернизация ректификационной установки будет затрагивать замену теплообменного и насосного оборудования. Данную модернизацию возможно провести во время планового останова производства на капитальный ремонт. При сравнении CAPEX на модернизацию установки с но-

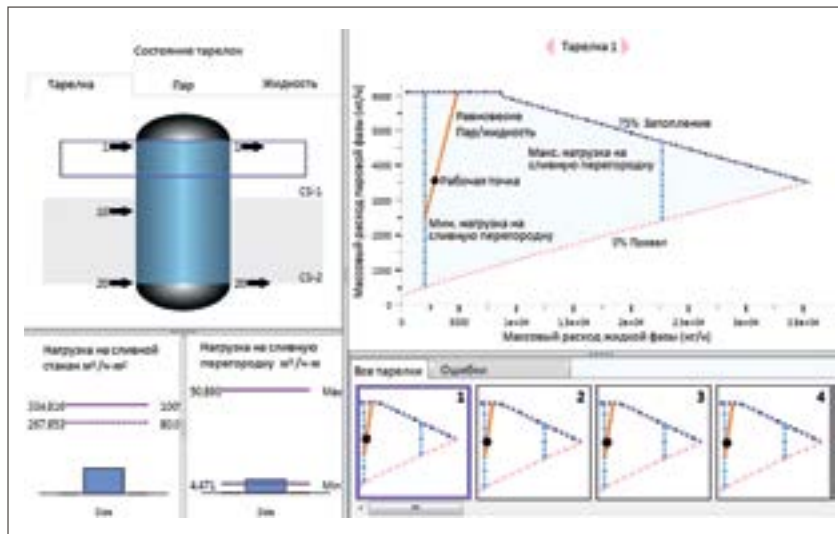


Рис. 2. Диаграмма результатов гидравлического расчета (выполнено авторами по данным [4])
Fig. 2. Diagram of the hydraulic calculation results (created by the authors according to [4])

Таблица 2. Результаты моделирования процесса ректификации водно-метанольной смеси
Table 2. Results of simulation of the process of rectification of water-methanol mixture

F , кг/ч F , kg/h	C , мас. % C , wt. %	R	D , кг/ч D , kg/h	W , кг/ч W , kg/h	Q_1 , кВт Q_1 , kW	Q_2 , кВт Q_2 , kW	Q_3 , кВт Q_3 , kW	Примечание Note
2500	30	3,7	718,5	1781	1035	1093	128	При $R < 3,7$ нагрузка на сливную перегородку меньше допустимой величины At $R < 3.7$ the load on the drain plate is less than permitted value
	50	2,1	1234	1266	1174	1233	105	При $R < 2,1$ нагрузка на сливную перегородку меньше допустимой величины. При $R = 2,1$ конденсатор не проходит по нагрузке At $R < 2.1$ the load on the drain plate is less than the permitted value. At $R = 2.1$ the condenser does not correspond to the load
	65	1,57	1595	904,8	1268	1326	81	При $R < 1,57$ нагрузка на сливную перегородку меньше допустимой величины. При $R = 1,57$ конденсатор и кипяtilьник не проходят по нагрузке At $R < 1.57$ the load on the drain plate is less than the permitted value. At $R = 1.57$ condenser and reboiler do not correspond to the load
3500	30	2,8	1008	2492	1175	1256	174	При $R < 2,8$ нагрузка на сливную перегородку меньше допустимой величины. При $R = 2,8$ конденсатор и рекуперативный теплообменник не проходят по нагрузке At $R < 2.8$ the load on the drain plate is less than the permitted value. At $R = 2.8$ condenser and recuperative heat exchanger do not correspond to the load
	50	1,6	1734	1766	1396	1477	140	При $R < 1,6$ нагрузка на сливную перегородку меньше допустимой величины. При $R = 1,6$ конденсатор и кипяtilьник не проходят по нагрузке At $R < 1.6$ the load on the drain plate is less than the permitted value. At $R = 1.6$ condenser and reboiler do not correspond to the load
	65	1,2	2243	1257	1524	1617	105	При $R < 1,2$ нагрузка на сливную перегородку меньше допустимой величины. При $R = 1,2$ конденсатор и кипяtilьник не проходят по нагрузке At $R < 1.2$ the load on the drain plate is less than the permitted value. At $R = 1.2$ condenser and reboiler do not correspond to the load

(Продолжение табл. 2 – на с. 76)

(Продолжение табл. 2, начало – на с. 75)

F, кг/ч F, kg/h	C, мас. % C, wt. %	R	D, кг/ч D, kg/h	W, кг/ч W, kg/h	Q ₁ , кВт Q ₁ , kW	Q ₂ , кВт Q ₂ , kW	Q ₃ , кВт Q ₃ , kW	Примечание Note
4000	30	2,5	1154	2846	1244	1337	198	При R < 2,5 нагрузка на сливную перегородку меньше допустимой величины. При R = 2,5 конденсатор, кипятильник и рекуперативный теплообменник не проходят по нагрузке At R < 2.5 the load on the drain plate is less than the permitted value. At R = 2.5 condenser, reboiler, and recuperative heat exchanger do not correspond to the load
	50	1,4	1986	2014	1477	1582	151	При R < 1,4 нагрузка на сливную перегородку меньше допустимой величины. При R = 1,4 конденсатор, кипятильник и рекуперативный теплообменник не проходят по нагрузке At R < 1.4 the load on the drain plate is less than the permitted value. At R = 1.4 condenser, reboiler, and recuperative heat exchanger do not correspond to the load
	65	1,05	2571	1429	1640	1744	116	При R < 1,05 нагрузка на сливную перегородку меньше допустимой величины. При R = 1,05 конденсатор, кипятильник и рекуперативный теплообменник не проходят по нагрузке At R < 1.05 the load on the drain plate is less than the permitted value. At R = 1.05 condenser, reboiler, and recuperative heat exchanger do not correspond to the load
4500	30	2,4	1299	3201	136 071	146 538	233	При R < 2,4 нагрузка на сливную перегородку меньше допустимой величины. При R > 2,4 нагрузка на переливной стакан превышает допустимое значение. При R = 2,4 конденсатор, кипятильник, рекуперативный теплообменник и насос подачи флегмы не проходят по нагрузке At R < 2.4 the load on the drain plate is less than the permitted value. At R > 2.4 the load on the downcomer is more than the permitted value. At R = 2.4 condenser, reboiler, recuperative heat exchanger, and reflux feed pump do not correspond to the load
	≥50	–	–	–	–	–	–	Рабочая точка находится за пределами устойчивой области работы тарелки Duty point is outside the critical stability of the plate working range

вым строительством установки, в случае если в рамках модернизации будет обеспечено заданное увеличение производительности установки с необходимым качеством получаемых продуктов, модернизация представляется более выгодным решением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для эффективной эксплуатации и поиска наилучших решений по модернизации и модификации действующих технологических установок проводятся техническое обследование, моделирование технологического процес-

са, оценка CAPEX и OPEX, выбор оптимального варианта. Для выполнения указанных работ целесообразно привлекать инженеринговые компании, оснащенные техническими и программными средствами, с опытом ведения подобных проектов. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекиров Т.М., Ланчаков Г.А. Технология обработки газа и конденсата. М.: Недра, 1999. 585 с.
2. Kister H.Z. Distillation Design. McGraw, 1992. 710 p.
3. ТУ 2421-076-00151638-2007. Метанол [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://e-ecolog.ru/reestr/doc/123308> (дата обращения: 27.07.2018).
4. Aspen HYSYS. What's New in V10 & V10.1 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.aspentech.com/v10> (дата обращения: 27.07.2018).

REFERENCES

1. Bekirov T.M., Lanchakov G.A. Gas and Condensate Treatment Technology. Moscow, Nedra, 1999, 585 p. (In Russian)
2. Kister H.Z. Distillation Design. McGraw, 1992, 710 p.
3. Technical Specification TU 2421-076-00151638-2007. Methanol [Electronic source]. Access mode: <https://e-ecolog.ru/reestr/doc/123308> (access date: July 27, 2018). (In Russian)
4. Aspen HYSYS. What's New in V10 & V10.1 [Electronic source]. Access mode: <https://www.aspentech.com/v10> (access date: July 27, 2018).