

В. Н. Елина (магистрант), С. С. Батюков (доц.), А. В. Моисеев (к.х.н., зав. каф.)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА УСТАНОВКИ ДЕГИДРИРОВАНИЯ ИЗОПЕНТАНОВ В ИЗОАМИЛЕНА АО «ННК»

Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске,
кафедра «Химия и химическая технология»

446200, г. Новокуйбышевск, ул. Миронова, 5; e-mail: Moiseev.AV@samgtu.ru

V. N. Elina, S. S. Batyukov, A. V. Moiseev

OPTIMIZATION OF HEAT EXCHANGE PERFORMANCE IN ISOPENTANE-TO-ISOAMYLENE DEHYDROGENATION UNIT AT NNK OIL COMPANY

Samara State Technical University, Branch in Novokuybyshevsk

5, Mironova Str., 446200, Novokuybyshevsk, Russia; e-mail: Moiseev.AV@samgtu.ru

Представлены результаты исследования по оптимизации тепловых режимов каталитического дегидрирования изопентанов. Работоспособность конструктивных решений была подтверждена моделированием в среде Unisim Design. Разработанные решения позволяют интенсифицировать процессы теплопередачи, сохраняя при этом показатели конверсии сырья и селективности образования целевых продуктов, одновременно обеспечивая снижение энергопотребления и затрат на энергоносители. Предложен вариант модернизации конструкции регенератора путем внедрения специально разработанного закалочного змеевика.

Ключевые слова: закалочный змеевик; каталитическое дегидрирование; теплообмен; теплопередача; энергоэффективность; UniSim Design

В современных условиях промышленного производства повышение энергоэффективности и рациональное использование ресурсов являются ключевыми направлениями научно-технологического развития России. Энергосбережение подразумевает комплекс организационных, технических, технологических и экономических мер, направленных на сокращение потребления энергетических ресурсов при сохранении целевых показателей производства, включая объем выпускаемой продукции, качество выполняемых работ и оказываемых услуг^{1,2}.

Особую актуальность эти задачи приобретают в нефтехимической отрасли, где процессы каталитического дегидрирования углеводородов, в

This study presents optimization results for thermal regimes in catalytic isopentane dehydrogenation. The performance of the design solutions confirmed by simulation in the Unisim Design environment. The developed solutions intensify heat transfer processes while maintaining feedstock conversion rates and target product selectivity, simultaneously reducing energy consumption and energy carrier costs. An upgrade option for the regenerator design has been proposed by integrating a specially developed quench coil.

Key words: catalytic dehydrogenation; energy efficiency enhancement; heat transfer intensification; quenching coil; thermal process optimization; UniSim Design

частности, преобразование изопентанов в изоамилены, отличаются высокой энергоемкостью³. Традиционные технологические решения часто не обеспечивают оптимального теплообмена, что приводит к избыточному расходу энергоносителей без существенного повышения эффективности процесса.

В данной работе рассматриваются методы интенсификации теплообмена в промышленных установках дегидрирования^{4,5}, направленные на:

- оптимизацию тепловых режимов для снижения удельного энергопотребления с сохранением конверсии сырья и селективности образования целевых продуктов;
- совершенствование конструктивных решений, включая модернизацию закалочных змееви-

Дата поступления 17.10.25

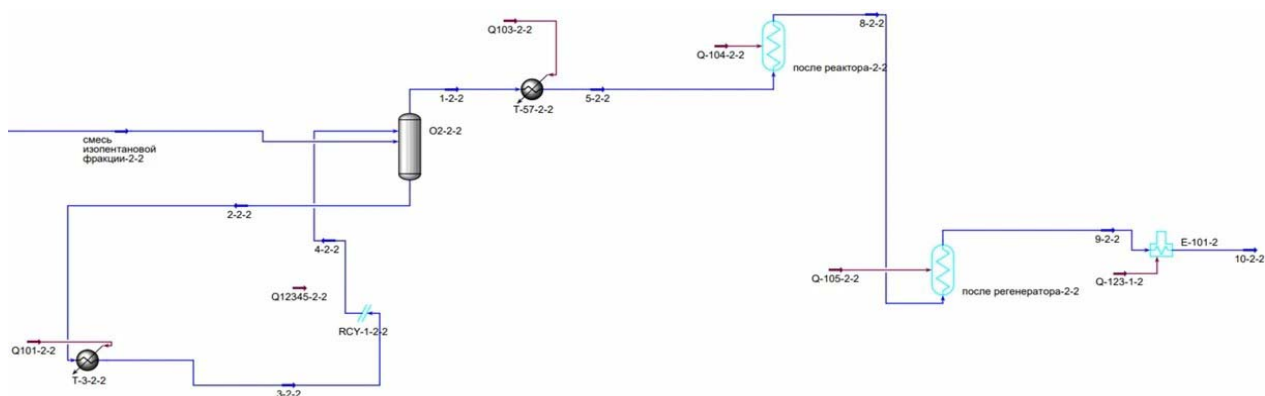


Рис. 1. Оптимизированная модель установки дегидрирования изопентанов в изоамилены АО «ННК»

ков, с верификацией результатов методами компьютерного моделирования (UniSim Design);

– снижение эксплуатационных затрат за счет уменьшения расхода энергоресурсов без сокращения объемов производства.

Проведенный детальный анализ тепловых режимов дегидрирующей установки выявил регенератор как наиболее перспективный узел для оптимизации. Модернизация конструкции регенератора путем внедрения специально разработанного закалочного змеевика позволит устранить основные тепловые потери системы.

В рамках исследования в программной среде UniSim Design разработана многоступенчатая система нагрева углеводородного потока, обеспечивающая максимальную рекуперацию тепла. Особое внимание в модели уделено блоку регенерации (рис. 1), параметры которого были оптимизированы в ходе виртуальных экспериментов ^{1, 6}.

Технологическая схема включает последовательные стадии теплообмена:

1. Исходная изопентановая фракция с температурой 120 °С поступает из теплообменника Т-57 в змеевиковый теплообменник реакторного блока, где нагревается до 250 °С за счет тепла реакционных газов (рис. 2).

2. Поток направляется в закалочный змеевик регенератора, где происходит его дополнительный нагрев до 450 °С за счет тепла регенерированного катализатора (рис. 3).

Внедрение многоступенчатой системы теплообмена позволило достичь значительного улучшения энергетических и эксплуатационных показателей технологического процесса. Ключевым результатом модернизации стало кардинальное снижение тепловой нагрузки на печной агрегат. Сравнительный анализ температурных режимов показывает, что до оптимизации сырье поступало в печь с температурой 220 °С, требуя нагрева на 300 °С до целевых 520 °С.

после реактора-2-2

Worksheet	Name	5-2-2	8-2-2
Conditions	Vapour	0,3936	1,0000
Properties	Temperature [C]	120,0	250,0
Properties	Pressure [kPa]	1000	900,0
Composition	Molar Flow [kgmole/h]	60,70	60,70
Composition	Mass Flow [kg/h]	4500	4500
PF Specs	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	7,048	7,048
PF Specs	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,630e+00	-1,279e+00
PF Specs	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	120,0	201,5
PF Specs	Heat Flow [kJ/h]	-9,892e+00	-7,764e+00

Design Rating **Worksheet** Performance Dynamics Cost

Delete OK

Рис. 2. Параметры потока изопентановой фракции после закалочного змеевика реактора

после регенератора-2-2

Worksheet	Name	8-2-2	9-2-2
Conditions	Vapour	1,0000	1,0000
Properties	Temperature [C]	250,0	450,0
Properties	Pressure [kPa]	900,0	800,0
Composition	Molar Flow [kgmole/h]	60,70	60,70
Composition	Mass Flow [kg/h]	4500	4500
PF Specs	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	7,048	7,048
PF Specs	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,279e+00	-8,432e+00
PF Specs	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	201,5	272,6
PF Specs	Heat Flow [kJ/h]	-7,764e+00	-5,118e+00

Design Rating **Worksheet** Performance Dynamics Cost

Delete OK

Рис. 3. Параметры потока изопентановой фракции после закалочного змеевика регенератора

После реализации новой схемы теплообмена, включающей предварительный нагрев в теплообменнике Т-57 до 120 °С, последующий нагрев до

250 °С за счет тепла реакционных газов и окончательный подогрев до 450 °С в закалочном змеевике регенератора, температурный перепад в печи сократился до 70 °С (с 450 С до 520 °С) (рис. 4, 5).

	Name	9-2-2	10-2-2
Conditions	Vapour	1,0000	1,0000
	Temperature [C]	450,0	520,0
Properties	Pressure [kPa]	800,0	400,0
	Molar Flow [kgmole/h]	60,70	60,70
Composition	Mass Flow [kg/h]	4500	4500
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	7,048	7,048
PF Specs	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-8,432e+00	-6,696e+00
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	272,6	301,2
	Heat Flow [kJ/h]	-5,118e+00	-4,064e+00

Рис. 4. Параметры потока изопентановой фракции после печи

Parameter	Value
Delta P	400,0 kPa
Duty	1,05415e+006 kJ/h
Delta T	70,00 C

Рис. 5. Параметры печи

Проведенная модернизация системы теплообмена установки дегидрирования изопентанов позволила достичь значительного повышения

энергетической эффективности процесса. Ключевым результатом стало снижение нагрузки на печной агрегат за счет реализации многоступенчатой схемы рекуперации тепла.

Сравнительный анализ температурных режимов показал, что внедрение системы предварительного подогрева углеводородного сырья позволило сократить температурный перепад в печи с 300 °С (нагрев с 220 до 520 °С) до 70 °С (нагрев с 450 до 520 °С). Это обеспечило снижение тепловой нагрузки на печь на 76.7%.

Наиболее значимым достижением стало сокращение расхода топлива с 45 до 12 т/сут, что соответствует снижению на 73.3% (табл. 1). Удельный расход топлива уменьшился с 0.38 до 0.10 т/т продукции. Годовое потребление топлива сократилось с ~16 425 до ~4 380 т^{1,7}.

В условиях роста цен на энергоресурсы и ужесточения экологических требований проведенная модернизация системы теплообмена установки дегидрирования изопентанов продемонстрировала комплексный положительный эффект, имеющий существенное значение для повышения рентабельности нефтехимических производств. Реализация многоступенчатой схемы рекуперации тепла позволила достичь значительного снижения энергопотребления при сохранении всех технологических параметров процесса.

Ключевым результатом стало сокращение расхода топлива с 45 до 12 т/сут, что обеспечило экономию 33 т топлива ежедневно и годовое снижение затрат более чем на 100 млн руб. Наряду с экономическими преимуществами, модернизация привела к существенному экологическому эффекту, выразившемуся в годовом сокращении выбросов CO₂, N_{OX} и снижении образования сажи на 45–50%.

Технологические преимущества реализованного решения включают повышение КПД теплообмена до 92%, увеличение межремонтного пери-

Таблица 1

Расчеты потребления топлива на печь до и после оптимизации установки

1	Тепло, полезно переданное в печи П-1 сырью	ΣQ_1	МДж/ч	Расчет П-1	1.4
2	КПД печи	КПД _{П-1}	%	С учетом потерь в окружающую среду	66.6
3	КПД печи после монтажа змеевика	КПД _{П-1} (после монтажа змеевика)	%	С учетом потерь в окружающую среду	68.9
4	Теоретически необходимое количество тепла для П-1	$\Sigma Q_{\text{полное 1}}$	МДж/ч	$\Sigma Q_{\text{полное 1}} = \frac{\Sigma Q_1}{\text{КПД}_{\text{П-1}}} \cdot 100$	2.1
5	Теоретически необходимое количество тепла для П-1 (после НРГ)	$\Sigma Q_{\text{полное 1}}$ (после НРГ)	МДж/ч		0.6
6	Удельный расход топлива на печь П-1 (сырье печи – газ)	W (до монтажа змеевика)	кг у.т./тн	$W = \frac{\Sigma Q_{\text{полное 1}} \cdot 1000}{29.3 \cdot d_{4t}}$	44.94
7	Удельный расход топлива на печь П-1 (сырье печи – газ) (после НРГ)	W (после монтажа змеевика)	кг у.т./тн		12.26

ода оборудования на 40–45 % за счет снижения тепловых напряжений, а также существенное улучшение стабильности технологического режима с отклонением не более ± 2 °С. Дополнительным положительным эффектом стало уменьшение скорости коксообразования, что благоприятно скажется на качестве конечной продукции.

Литература

1. Технологический регламент установки дегидрирования изопентанов в изоамилены. – АО «ННК», 2018. – 157 с.
2. Прокопчик И.Н. Модернизация нефтеперерабатывающих комплексов: повышение энергоэффективности и снижение выбросов за счет интеграции тепловых потоков установок // *Universum: технические науки*. – 2024. – №12-7 (129). – С.40-46.
3. Смит Дж.М., Ван Несс Х.К. Введение в химическую термодинамику. – М.: Бином, 2019. – 780 с.
4. Johnson R.W. *Process Heat Transfer: Principles and Applications*. – CRC Press, 2022. – 850 p.
5. Environmental Protection Agency. *Best Available Techniques for Energy Efficiency in Chemical Industry*. – EPA, 2022. – 230 p.
6. AspenTech. *Руководство пользователя UniSim Design R460*. – 2021. – 1200 с.
7. Отчет о НИР «Оптимизация тепловых режимов установки дегидрирования». – АО «ННК», 2022. – 150 с.

Таким образом, проведенное исследование создает теоретическую основу для последующего внедрения энергосберегающих технологий на промышленных установках дегидрирования. Реализация предложенных решений позволит существенно улучшить технико-экономические и экологические показатели производства.

References

1. *Tekhnologicheskiy reglament ustanovki degidrirovaniya izopentanov v izoamileny* [Technological regulations for the unit for dehydrogenation of isopentanes to isoamylenes]. JSC NNK Publ., 2018, 157 p.
2. Prokopchik I.N. *Modernizatsiya neftepererabatyvayushchikh kompleksov: povysheniye energoeffektivnosti i snizheniye vybrosov za schet integratsii teplovykh potokov ustanovok* [Modernization of oil refining complexes: increasing energy efficiency and reducing emissions by integrating heat flows of units]. *Universum: tekhnicheskiye nauki* [Universum: technical sciences], 2024, no.12-7(129), pp.40-46.
3. Smith J.M., Van Ness H.K. *Vvedeniye v khimicheskuyu termodinamiku* [Introduction to Chemical Thermodynamics]. Moscow, Binom Publ., 2019, 780 p.
4. Johnson R.W. [Process Heat Transfer: Principles and Applications]. CRC Press, 2022, 850 p.
5. [Environmental Protection Agency. *Best Available Techniques for Energy Efficiency in Chemical Industry*]. – EPA, 2022, 230 p.
6. AspenTech. *User manual UniSim Design R460*, 2021, 1200 p.
7. *Otchet o NIR «Optimizatsiya teplovykh rezhimov ustanovki degidrirovaniya»* [Research report «Optimization of thermal modes of a dehydrogenation unit»]. JSC NNK, 2022, 150 p.