

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ PROCESSING SIGNALS AND IMAGES

УДК 631.85.

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

*Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Зайнутдинова М.Б.,
Хожиева Н.Ж., Авазов Ю.Ш.*

Излагаются вопросы термодинамического эксергетического анализа сложных химико-технологических систем (ХТС), основанного на изучении преобразования эксергии в технологических аппаратах и установках с целью рационального использования циркулирующей в ХТС эксергии. Выполнен эксергетический анализ действующей установки ЭЛОУ-АВТ на действующем нефтеперерабатывающем заводе при увеличении ее производительности, обеспечивающей необходимую степень подогрева нефти.

Ключевые слова: химико-технологические системы, эксергетический анализ, энерготехнологические процессы, промышленная термодинамика.

Кимёвий – технологик тизимлар (КТТ)да айланиб юрадиган эксергиялардан оқилон фойдаланиш максидида эксергияда технологик аппарат ва қурилмаларда эксергия конверсиясини ўрганишга асосланган мураккаб КТТнинг термодинамик эксергик таҳлил масалалари баён этилган. Ишлаётган нефтни қайта ишлаш заводида мавжуд бўлган ЭЛОУ АВТ қурилмасининг (эксергик таҳлили) самарадорлигини ошириш билан зарур бўлган, нефтни керакли даражада иситишни таъминловчи эксергетик таҳлили ўтказилган.

Таянч иборалар: Кимёвий технологик тизим, энерготехнологик жараёнлар, эксергетик таҳлил, нефтни бирламчи қайта ишлашжараёнлари, саноат термодинамикаси.

The questions of thermodynamic exergy analysis of complex chemical-technological systems based on the study of the conversion of exergy in technological apparatuses and installations for the rational use of exergy circulating in the CTS are set forth. An exergy analysis of the existing ELOU-AVT unit at an existing oil refinery was carried out with an increase in its productivity providing the necessary degree of oil heating.

The issue of thermodynamic assessment of the effectiveness of complex chemical-technological processes and production based on exergy indicators on the example of primary oil refining processes is considered. The methods of exergy

analysis of the effectiveness of both individual elements and assemblies of complex and technological installations as a whole are discussed. Structural optimization of energy technology processes is focused on the application of the methods of resolving terms of linear programming.

The modern development of chemical and petrochemical technology is characterized by an increase in unit capacities and an increase in the efficiency of existing facilities. This is due to qualitatively new structural solutions related to the organization of interaction and processing of energy flows between individual subsystems of industrial production and the need to maximize the use of energy from technological flows within production. Chemical-technological processes of industrial production are in direct connection with energy flows, forming a single whole - a chemical-technological system or an energy-technological installation which is aimed at solving two problems: the production of finished products of the required quality and the reproduction of energy needed to conduct the process. From these tasks, the problem of the maximum use of the energy of technological flows within the system follows.

A distinctive feature of energy technology industries is the variety of sources and potentials of generated energy. In this regard, it becomes necessary to use for analysis and synthesis of the optimal organization of energy technological processes the method of exergy analysis, which allows to correctly assess the quality and optimal distribution of available energy resources

Keywords: chemical-technological systems, exergy analysis, energy-technological processes, industrial thermodynamics.

I. ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие химической и нефтехимической технологии характеризуется ростом единичных мощностей и повышением эффективности действующих производств. Это обусловлено качественно новыми структурными решениями, связанными с организацией взаимодействия и переработкой энергетических потоков между отдельными подсистемами промышленных производств и с необходимостью максимального использования энергии технологических потоков внутри производства. Химико-технологические процессы промышленных производств находятся в непосредственной связи с энергетическими потоками, образуя единое целое – химико-технологическую систему или энерготехнологическую установку, которая направлена на решение двух задач: выпуск готовой продукции нужного качества и воспроизводство энергии, необходимой для ведения процесса. Из этих задач вытекает проблема максимального использования энергии технологических потоков внутри системы [1].

Наиболее рациональный путь эффективного сочетания энергетических и материальных превращений состоит в отыскании оптимальной структуры взаимодействия отдельных узлов энерготехнологического производства. Структурная оптимизация позволяет путем введения дополнительных технологических связей максимально использовать внутренние энергетические ресурсы системы, тем самым повышая ее экономическую эффективность.

Отличительная особенность энерготехнологических производств состоит в разнообразии источников и потенциалов вырабатываемой энергии. В связи с этим становится необходимым использование для анализа и синтеза оптимальной организации энерготехнологических процессов метода эксергетического анализа, позволяющего правильно оценивать качество и оптимально распределение имеющихся энергетических ресурсов [2].

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Постановка задачи анализа установки первичной переработки нефти и ее решение.

В работе рассматривается метод синтеза оптимальной структуры энерготехнологической установки на основе использования методов структурно-параметрической оптимизации. Решение задачи основано на методе анализа эффективности энерготехнологических процессов с использованием принципа термодинамического анализа [1], которая в отличие от существующих может быть использована для всех классов существующих энерго-технологических процессов, в том числе и процессов первичной переработки нефти. Методика эксергетического анализа энерготехнологических процессов основана на переработке эксергии в технологических аппаратах. Такой подход позволяет объективно оценивать возможности использования энергии, циркулирующей внутри химико-технологической системы [2].

Анализ установки первичной переработки нефти. Оценка термодинамической эффективности процессов первичной переработки нефти (ЭЛОУ-АТ, ЭЛОУ-АВТ) основана на исследовании эффективности каждого отдельного аппарата.

При оценке термодинамической эффективности процессов и теплообмена без учета потерь тепла в окружающую среду и, не учитывая гидравлическое сопротивление теплообменного аппарата (что правомерно в силу постоянства давления в теплообменной аппаратуре для нефтеперерабатывающих производств) коэффициенты эффективности процесса теплообмена определяются следующим образом.

$$\eta_{LW} = \frac{T_r(T_x - T_0)}{T_x(T_r - T_0)} \quad (1)$$

$$\eta_N = Q_T T_0 \frac{(T_r - T_x) / (T_r T_x)}{E_{\text{вх}}}, \quad (2)$$

где Q_T – количество переданного полезного тепла; T_x (T_r)- средняя термодинамическая температура холодного (горячего) потока.

При оценке эффективности процесса ректификации целесообразно рассматривать отдельно процессы массообмена и тепловые процессы: собственно ректификация, дефлегмация, подогрев циркулирующего потока в печи.

Полезный эффект собственно ректификации для простых ректификационных колонн можно найти, как разность между эксергиями продуктов и входного потока питания.

$$N = E_p + E_w - E_f \quad (3)$$

Внутренние потери, то - есть потери от необратимости, для массообменного аппарата связаны с адиабатным протеканием процесса в нем. Внутренние потери определяются из эксергетического баланса ректификационной колонны.

$$\Pi = E_{w1} + E_{r1} + E_f - E_p - E_w - E_{r2} - E_{w2}. \quad (4)$$

Внешние потери для массообменного аппарата будут складываться из эксергии парового и циркулирующего потоков r_2 и w_2 , покидающих его, в результате чего теряется эксергия, за вычетом эксергии потока r_1 , возвращающегося в колонну в качестве флегмы. К внешним потерям относятся также потери через стенки колонны, поскольку они малы, или можно пренебречь.

Затраченной эксергией для ректификации является эксергия, сообщенная циркулирующему потоку в печи, подводимая в куб колонны, т.е. $E_{\text{затр.}} = E_{w1}$. Отсюда коэффициенты интенсивности и эксергетических потерь имеют вид:

$$\eta_N = \frac{E_p + E_w - E_f}{E_{w1}}, \quad (5)$$

$$\eta_N = \frac{E_{w1} - (E_p + E_w - E_f)}{E_{w1} + E_{r1} + E_f}. \quad (6)$$

В нефтеперерабатывающих производствах для подогрева потоков сырья используются нагревательные печи.

Затраты в процессе равны эксергии топлива E_T и эксергии обогащенного воздуха E_B , необходимого для полного сгорания топлива. Функция интенсивности определяется суммой эксергий потоков на выходе из печи за вычетом суммы эксергий потоков на входе в печь:

$$N = E_{c_2} + E_{c_4} + E_{\Pi_2} - E_{c_1} - E_{c_3} - E_{\Pi_1} \quad (7)$$

Коэффициент интенсивности для процесса подогрева нефти нефтепродуктов в печи будет иметь вид:

$$\eta_N = \frac{E_{c2} + E_{c4} + E_{п2} - E_{c1} - E_{c3} - E_{п1}}{E_T + E_b} \quad (8)$$

Процесс подогрева потоков в печах сопровождается как внутренними, так и внешними потерями. Внутренние потери, то есть потери от необратимости процесса, связаны с двумя явлениями: необратимым сгоранием топлива и необратимым теплообменом. Они могут быть оценены из эксергетического баланса печи:

$$П^1 = E_T + E_b + E_{c2} + E_{c3} + E_{п1} - E_{c2} - E_{c4} - E_{п2} - E_{g2} \quad (9)$$

Внешние эксергетические потери определяются эксергией дымовых газов $E_{д.г.}$

Коэффициент эксергетические потерь оценивается по уравнению:

$$\eta_{п} = \frac{E_T + E_b - (E_{c2} + E_{п2} + E_{c4} - E_{c1} - E_{c3} - E_{п1})}{E_T + E_b + E_{c1} + E_{c3} + E_{п1}} \quad (10)$$

На основе рассматриваемой методики эксергетического анализа для выявления резервов повышения эффективности производства и определения оптимального уровня производительности рассчитан эксергетический баланс и проведена оценка эффективности действующей установки ЭЛОУ-АВТ-6. Результаты расчета представлены в таблицах 1,2.

Необходимо отметить, что как показывают результаты расчета в (табл.2) вторая составляющая эксергии представляет значительный вклад, а для легкой фракции, поскольку для разделения к ней нужно подвести меньше энергии, чем к тяжелой, превышает первую составляющую. Отсюда следует, что легкие фракции обладают большей удельной работоспособностью. Это указывает на необходимость учета второй составляющей эксергии [5].

Таблица I

Теплообменники		Ректификационные колонны			Трубчатые печи		
		К- I	К-2,К-6 К-7,К-9	К-8	П-1	П-2	П-3
η_N	0,536-0,882	0,09 I	0, I63	0, I28	0, I68	0, I65	0, I6I
η_n	0,02 - 0,46	0,425	0,380	0,667	0,723	0,736	0,758

Печи с котлами- утилизаторами: $\eta_N = 0, I70, \eta_n = 0,604.$

Коэффициент термодинамической эффективности системы $\Pi_c = 0,069$.

Таблица 2

Технологический поток	E_1 , ккал/кг	E_2 , ккал/кг	E , ккал/кг
Сырая нефть	0,077	60,27	60,347
Пары фр. НК-180 из К- I	90,74	108,12	198,86
Отбензиненная нефть из К- I	46,02	45,62	91,64
Пары фр. 85-180 из К-2	86,43	101,06	187,49
Фр. 180-220 из К-6	11,37	80,77	92,14
Фр. 220-280 из К-7	21,28	61,88	83,16
Фр. 280-350 из К-9	40,13	42,52	82,65
Мазут из К-2	67,33	29,67	97,00
Стабильный бензин из К-8	20,49	87,10	107,59

Как видно из таблицы, эксергетические к.п.д. анализируемых аппаратов имеют достаточно высокие значения, поскольку эксергетические оценки для химических и энерготехнологических процессов характеризуются малыми значениями. Только трубчатые печи имеют большие коэффициенты эксергетических потерь. Это связано с процессом необратимого сгорания топлива и необратимостью теплообмена при передаче тепла сырьевым потоком через стенки змеевиков. Как показал дополнительный анализ, использование тепла отходящих дымовых газов для обогрева котлов-утилизаторов незначительно увеличивает коэффициент интенсивности. Коэффициент эксергетических потерь снижается на 15-20%

Анализ теплообменных процессов показал, что они имеют самые высокие коэффициенты интенсивности и самые низкие коэффициенты эксергетических потерь. При этом теплообменники, теплопередача в которых происходит на высоком температурном уровне, имеют более высокие показатели эффективности. Как видно из результатов теплообменные аппараты работают с разной термодинамической эффективностью, что объясняется нерациональной организацией теплообменной системы. Таким образом, эксергетический анализ теплообменной системы выявил возможность за счет изменения структурной организации потоков увеличить её эффективность.

Сравнительная оценка эффективности ректификационных колонн показывает, что наибольшей эффективностью обладает сложная колонна К-2 с боковыми стриппинг-секциями К-6, К-7, К-9. Это объясняется неадиабатностью процесса разделения в сложной колонне за счет отвода тепла I-м и II-ым циркуляционным орошением. Коэффициент интенсивности колонны стабилизации бензина К-8 достаточно высок за счет того, что отбираемые из этой колонны более легкие фракции обладают более высокой

удельной эксергей. В то же время колонна стабилизации имеет большие эксергетические потери, что объясняется большим флегмовым числом.

При анализе возможностей повышения производительности установки исходили из неизменности фракционного состава отбираемых продуктов, что позволяет провести анализ работы колонн при повышении нагрузки независимо от системы теплообмена, а затем организуя соответствующим образом тепловую подсистему, добиваться требуемых термодинамических режимов работы.

При математическом описании процессов ректификации нефти и нефтепродуктов была использована методика, которая в настоящее время применяется как при расчете действующих производств, так и в проектных расчетах. Методика расчета основана на посекционном представлении процесса ректификации с определением эффективной температуры в каждой секции, характеризующей распределение фракций между верхним и нижним продуктами на основании факторов абсорбции и отпарки.

С целью проверки адекватности принятой математической модели процесса ректификации и правильного задания свободных информационных переменных систем уравнений материальных и энергетических балансов был проведен промышленный эксперимент, который заключался в определении расходных показателей продуктов, давления в колоннах, температуры на верхних тарелках колонн. Был проведен также анализ составов продуктов разделения в колоннах.

На рис. 1 представлены результаты анализа колонн при изменении нагрузки. Из приведенных графиков видно, что при изменении нагрузки коэффициенты интенсивности колонн остаются приблизительно постоянными вплоть до производительности 8 **млн. т/год**, после снижаются. В тоже время коэффициенты эксергетических потерь снижаются. Это объясняется тем, что затраты и полезный эффект растут приблизительно пропорционально, в то время как входная эксергия растет быстрее абсолютной величины эксергетических потерь как за счет затрат эксергии, так и эксергии флегмы. При увеличении нагрузки свыше 8 **млн. т/год** снижается полезный эффект, поскольку с увеличением флегмового числа уменьшается количество верхнего продукта, обладающего наивысшей удельной эксергией, что ведет к увеличению коэффициентов эксергетических потерь ректификационных колонн [6].

Снижение коэффициентов эксергетических потерь говорит об эффективности увеличения нагрузки, поскольку уменьшение коэффициента потерь снижает удельные затраты на топливо. На графике(рис.1) выделена область производительности установки, наиболее предпочтительной с термодинамической точки зрения.

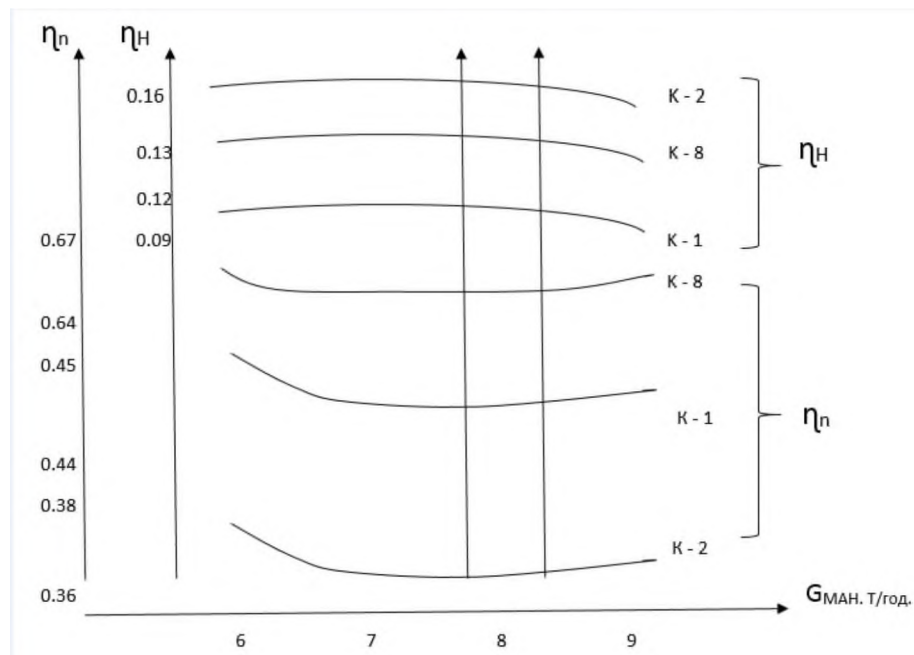


Рис.1. Анализ функционирования ректификационных колонн

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как следует из результатов эксергетического анализа существует возможность повышения эффективности системы теплообмена за счет рациональной организации ее структуры, что позволит сократить затраты топлива на подогрев нефти или повысить производительность установки. На основе методики структурной оптимизации тепловых подсистем, проведен поиск оптимальной структуры системы теплообмена, обеспечивающей заданную температуру нефти на входе в отбензинивающую колонну при производительности 8млн. т/год.

Задача поиска оптимальной системы теплообмена решалась для заданной общей поверхности теплообмена с учетом резервных производственных мощностей.

Оптимальная структура тепловой подсистемы может быть выбрана в качестве системы теплообмена для ЭЛОУ-АВТ-6.

В отличие от исходной схемы тепловой подсистемы рассчитанная оптимальная схема имеет трехпоточную структуру по сырой нефти, что связано с возрастанием производительности. Однако, ещё большее дробление потока нефти очевидно нецелесообразно, поскольку это приводит к уменьшению линейной скорости технологических потоков и, как следствие, к ухудшению процесса теплообмена.

Эксергетический анализ реконструированной установки первичной переработки нефти показал, что увеличилась эффективность как отдельных аппаратов и узлов, так и всей установки в целом. Термодинамической к.п.д. совершенства реконструированной установки составляет 0,072. Повышение

термодинамической эффективности установки за счет уменьшения эксергетических потерь приводит к снижению удельных затрат топлива на 5,5%.

Таким образом структурной оптимизации энерготехнологических процессов с использованием метода разрешающих слагаемых линейного программирования, позволяет определять оптимальные с термодинамической точки зрения структуры систем теплообмена.

Эксергетический анализ энерготехнологических процессов, позволяет оценивать эффективность как отдельных процессов, позволяет оценивать эффективность как отдельных процессов, так и все установки в целом. Расчет второй составляющей эксергии, основан на выборе в качестве окружающей среды модели идеального газа, что позволяет косвенным образом провести её расчет, не имея точного состава технологического потока.

Оценка термодинамической эффективности типовых процессов нефтеперерабатывающих установок на основа использовании коэффициентов интенсивности и эксергетических потерь.

С целью выявления резервов производства и корректировки математических моделей проведен промышленный балансовый эксперимент на действующей установке ЭЛОУ-АВТ-6. Эксергетический анализ действующей установки ЭЛОУ-АВТ-6 свидетельствует о возможности повышения ее производительности. Предложен оптимальный вариант системы теплообмена для установки при увеличении её производительности, обеспечивающий необходимую степень подогрева нефти.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пригожин И., Кондеп Д. Современная термодинамика, Москва, Мир, 2002 -231с.
- [2] Базаров И.П. Термодинамика, Учебник, 5-издание, Из-во СПб, Лань, 2010 -377с.
- [3] Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Зайнутдинова М.Б., Хожиева Н.Ж. Анализ информационных характеристик объектов химической технологии, Журнал “Химическая технология. Контроль и управление” Ташкент , №1 (85). 2019 – с.83-88
- [4] Балунев А.П., Майков В.П. Энтропия и информация в теории ректификации, Известия вузов, серия “Химия и химическая технология”, т.46, №9, 2003-с. 54-59
- [5] Броднянский В.М., Фратшке В., Михалек К. Эксергетический метод и его приложения, Москва, Энергоатомиздат, 1988 – 231с.
- [6] Цирлин А.М. Оптимальные процессы в макросистемах, Москва, Науки, физмат лит, 2012 – 246с.

- [7] Цирлин А.М. Оптимизационная термодинамика экономических систем, Москва, Научный Мир, 2011 – 200с.
- [8] Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Мухитдинов Д.П., Авазов Ю.Ш. Математическое моделирование процессов ректификации многокомпонентных смесей, Ташкент 2014 – 156с.
- [9] Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Зайнутдинова М.Б., Хожиева Н.Ж., Анализ информационных характеристик объектов химической технологии, Журнал. «Химическая технология. Контроль и управление», Ташкент №1(85), 2019 – с. 83-88.