

УДК 620.97

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ЭЛОУ-АВТ-3,5

¹Бобков В.И., ²Чибисов В.А., ²Канищев М.В.

¹Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

в г. Смоленске, Смоленск, e-mail: vovabobkoff@mail.ru;

²ООО «РусЭнергоПроект», Москва,

e-mail: rechibisov@rusenergoproekt.com, mvkanishev@rusenergoproekt.com

В настоящей статье приводится анализ результатов энерготехнологического обследования энергоемкой установки ЭЛОУ-АВТ-3,5 для поиска возможностей оптимизации технической схемы рекуперативного теплообмена с минимальными капиталовложениями и максимальными показателями энергоэффективности. Представлены собранные данные о технологических и энергетических характеристиках установок: технологической схемы, регламента и режимных листов; паспортных данных теплообменных аппаратов; паспортных данных и режимных карт технологических печей; данных о видах используемых энергоносителей, фактических объемах их потребления и оплаты за год; данных о фактической производительности по сырью за год. Определены и проанализированы структуры энергопотребления и энергозатрат по установке, проведен анализ динамики потребления топливно-энергетических ресурсов (далее по тексту – ТЭР) и платежей за них. Проведен анализ текущих зависимостей расходов ТЭР от объемов переработки установки и существующей системы учета энергоресурсов и материальных потоков нефти и нефтепродуктов. Обследованы теплообменные аппараты установки с целью определения их соответствия паспортным данным (и точек проведения инструментальных замеров). Осуществлены инструментальные замеры с использованием стационарных (штатных) и переносных специализированных средств измерений: начальных и конечных температур технологических потоков; температур теплоносителей в теплообменных аппаратах и холодильниках; температур открытых участков теплообменных аппаратов и трубопроводов; температур и состава дымовых газов технологических печей; показателей потребляемой электрической энергии на насосном оборудовании и аппаратах воздушного охлаждения; расходов теплоносителя в системах транспорта тепловой энергии; расходов воды в системах оборотного водоснабжения. Определены эффективности сжигания топлива в технологических печах и тепловые потери в окружающую среду. Составлены энергетические балансы установок по видам энергоносителей – топливу, тепловой и электрической энергии, оборотной воде; по технологическим потокам установок.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплоэнергия, электроэнергия, энергосбережение, топливно-энергетические ресурсы, ПИНЧ-анализ, теплообмен, нефтепереработка

FEATURES OF PROCESS DATA ANALYSIS TO IMPROVE POWER EFFICIENCY OF THE PLANT ELOU-AVT-3,5

¹Bobkov V.I., ²Chibisov K.E., ²Kanishev M.V.

¹Smolensk Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute,
Smolensk, e-mail: vovabobkoff@mail.ru;

²ООО RusEnergProyekt, Moscow,

e-mail: rechibisov@rusenergoproekt.com, mvkanishev@rusenergoproekt.com

This article provides an analysis of the results of the energy technology survey of the energy-intensive ELOU-AVT-3,5 plant to find opportunities to optimize the technical scheme of recuperative heat exchange with minimal investment and maximum energy efficiency. The collected data on the process and energy characteristics of the plants are presented: the process diagram, regulations and check lists; certificate data of heat exchangers; passport data and operating charts of process furnaces; data on the types of energy carriers used, the actual volumes of their consumption and payment for the year; data on actual raw material productivity for the year. The structures of energy consumption and power consumption for the installation, analysis of the dynamics of consumption of fuel and energy resources (hereinafter referred to as TER) and payments for them are determined and analyzed. Analysis of the current dependence of fuel and energy consumption on the volume of processing of the plant and the existing system for metering energy resources and material flows of oil and oil products was carried out. The heat exchangers of the plant were examined in order to determine their compliance with the passport data (and points of instrumental measurements). Instrument measurements were carried out using stationary (standard) and portable specialized measuring instruments: initial and final temperatures of process flows; coolant temperatures in heat exchangers and refrigerators; temperatures of open sections of heat exchangers and pipelines; temperatures and composition of flue gases of process furnaces; indicators of consumed electric energy on pumping equipment and air cooling devices; coolant flow rates in thermal energy transportation systems; water flow rates in circulating water supply systems. The efficiency of fuel combustion in process furnaces and thermal losses to the environment are determined. Power balances of plants by types of energy carriers – fuel, heat and electric energy, recycled water; by process flows of plants.

Keywords: energy efficiency, heat energy, electricity, energy saving, fuel and energy resources, PINCH analysis, heat exchange, oil refining

Установка ЭЛОУ-АВТ-3,5 является современной комбинированной установкой по первичной переработке нефти. На установке осуществляются обессоливание и обезвоживание нефти и ее дальнейшая переработка с получением: газа сухого, фракции бензина нестабильного, дистиллята топлива реактивного демеркаптанализированного, компонента керосинового, дизельного топлива зимнего, дизельного топлива летнего, легкого вакуумного газойля, тяжелого вакуумного газойля, гудрона.

Мощность установки составляет 3,5 млн т обессоленной нефти в год.

Цель настоящего исследования: разработка цифровизированной методики компьютерного анализа и оптимизации энерготехнологической схемы рекуперативного теплообмена установки ЭЛОУ-АВТ-3,5 для повышения ее энергоэффективности с минимальными капиталовложениями.

Материал и методы исследования

Для разработки методики анализа энерготехнологической схемы был использован метод THE BASYC SELOOP®, являющийся развитием методов ПИНЧ-диагностики, ПИНЧ-анализа и ПИНЧ-проектирования, который показал свою эффективность в исследованиях, проводившихся ранее сотрудниками ООО «РусЭнергоПроект» в химической, нефтехимической и коксохимической отраслях промышленности [1, 2]. Преимущество метода состоит в возможности достижения минимальной дисконтированной стоимости проекта, которая определяется экономическими и термодинамическими законами [3, 4].

Проведен анализ текущих зависимостей годовых расходов ТЭР от состава сырья и объемов переработки продукции для установки ЭЛОУ-АВТ-3,5, приведенных на рисунках 1 и 2.

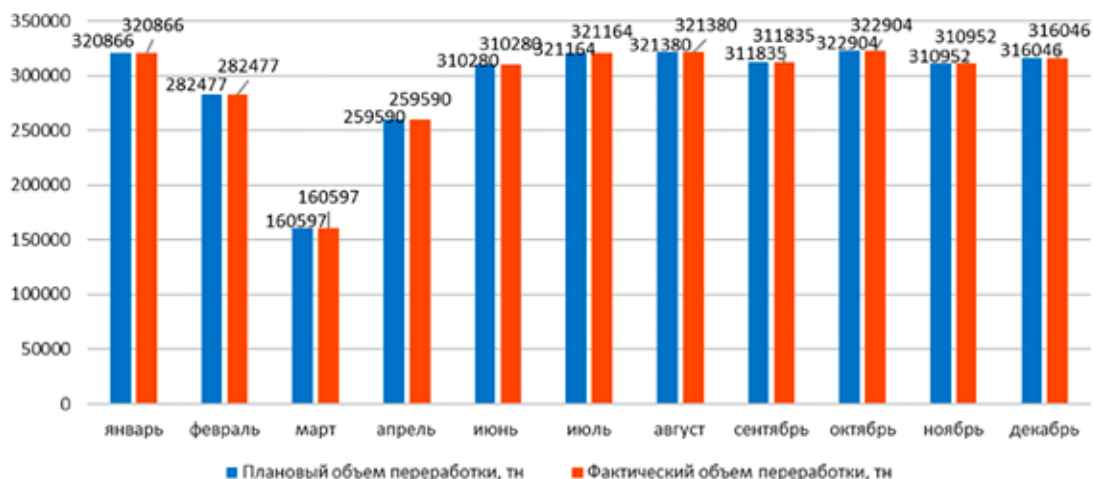


Рис. 1. Сравнение планового и фактического объемов переработки сырья за год

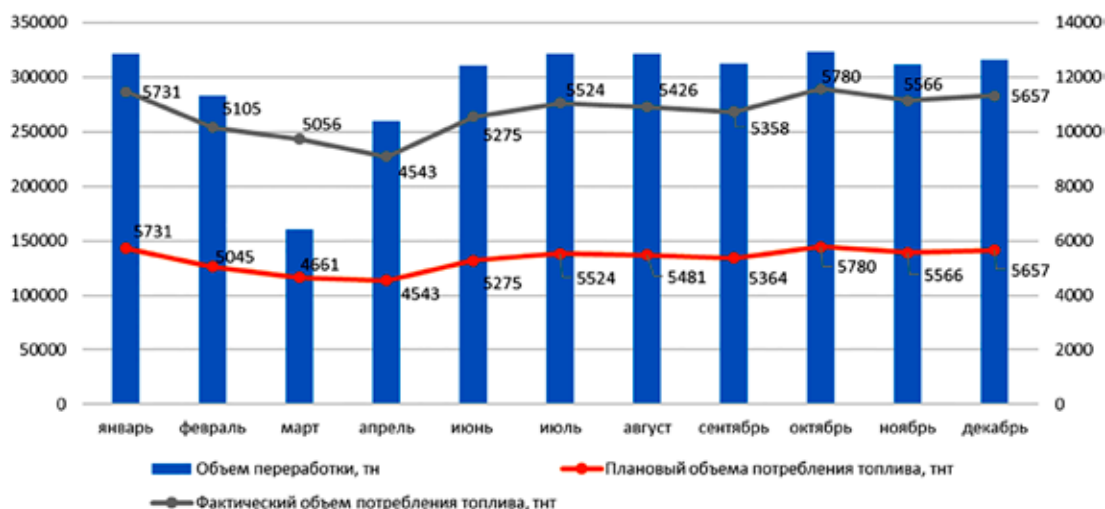


Рис. 2. Сравнение планового и фактического объемов потребления топлива за год

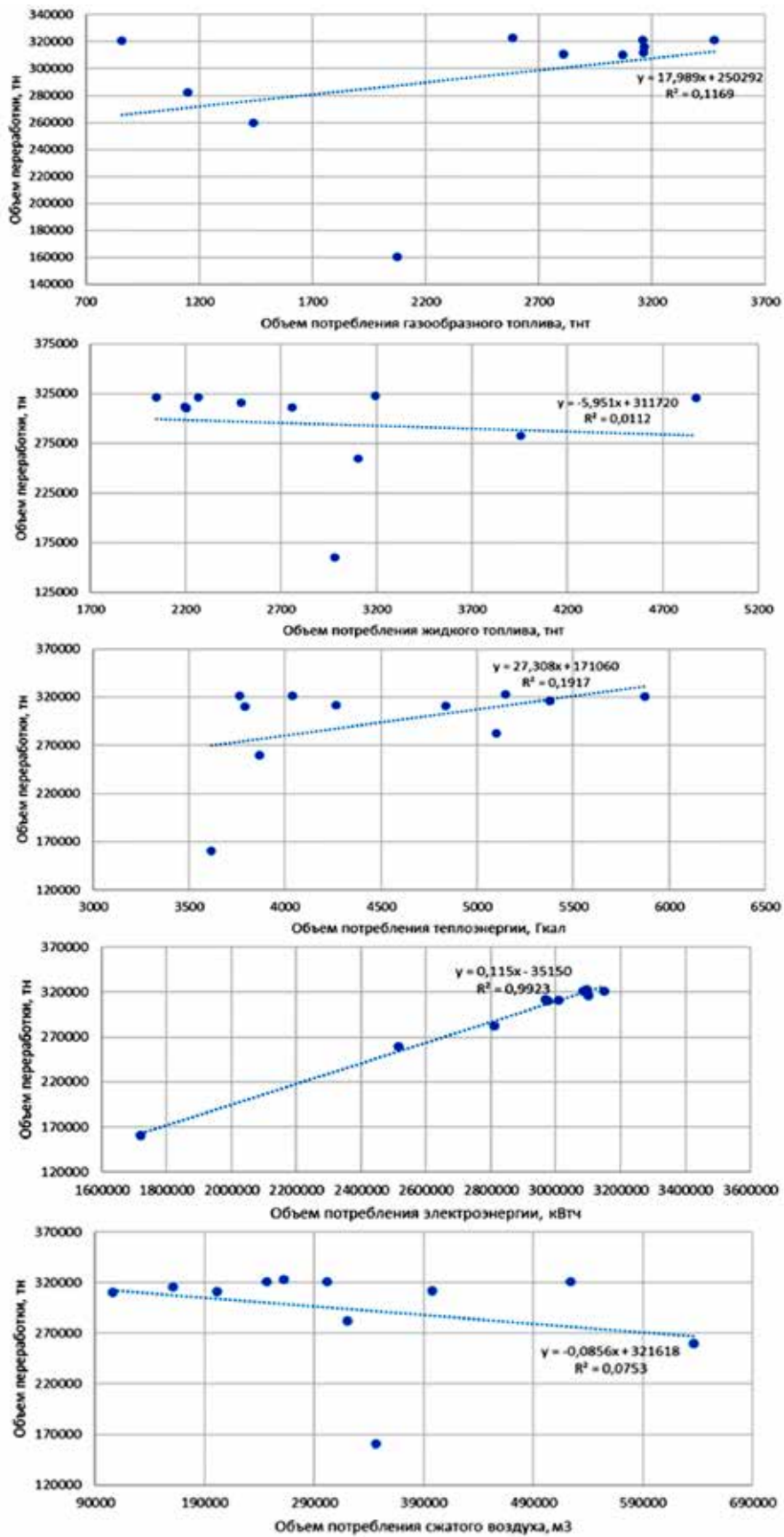


Рис. 3. Зависимость годового объема переработки сырья от потребления ТЭР

Анализ планового и фактического потребления топлива за год позволяет сделать вывод, что удельные нормы требовали пересмотра для более корректного планирования потребления топлива, поскольку фактическое потребление часто превышает плановое [5, 6].

Проанализировав графики расхода ТЭР за год, можно сделать вывод о том, что плановое потребление ТЭР практически совпадает с фактическим и не требует перерасчета [7, 8]. Также, анализируя графики, можно сделать вывод о том, что фактический объем переработки соответствует плановому и не требует корректировки [9, 10].

Для подтверждения предположений о наличии или отсутствии взаимосвязи между потреблением ТЭР и объемами переработки сырья необходимо дать количественную оценку взаимосвязи между исследуемой величиной и фактором, который влияет на данную величину, которую удобнее определять, используя математический аппарат регрессионного анализа [11, 12]. В его основе лежит анализ регрессионной зависимости попарных значений двух выборок данных, одна из которых (в данном случае) – величина потребления ТЭР, вторая выборка – значения фактора, от которого зависит потребление ТЭР [13].

Объективным фактором, от которого зависит расход ТЭР в установке ЭЛОУ-АВТ-3,5, являются объемы переработки сырья [14].

Применение регрессионного анализа позволит получить соотношение между величиной потребления ТЭР и ее переменной величиной. Наиболее простая и достаточно достоверная модель для данного случая – линейная модель зависимости вида: $Y=a \cdot X+b$, где Y – расход ТЭР; X – переработка сырья; a – коэффициент зависимости, означающий переменную составляющую потребления ТЭР, зависящую от объема переработки сырья; b – коэффициент зависимости, означающий постоянную составляющую потребления ТЭР, не зависящую от объема переработки сырья.

Для построения зависимости потребления ТЭР от объема переработки сырья на установке ЭЛОУ-АВТ-3,5 были использованы статистические сведения о ежемесячных расходах ТЭР и объемах переработки сырья за год (исключая периоды простоя), предоставленные предприятием.

Зависимость годового объема переработки сырья от потребления газообразного топлива, жидкого топлива, тепловой энергии, электрической энергии, сжатого воздуха представлена на рисунке 3.

Критерии, по которым возможно строить заключение относительно наличия вза-

имосвязи между расходом ТЭР и переработкой сырья, следующие:

– значение коэффициента детерминации должно быть $R^2 \geq R^2_{\text{крит}}$, где $R^2_{\text{крит}} = 0,332$ (для числа опытов $n=12$);

– значение коэффициентов a и b в уравнении $Y=a \cdot X+b$ должно быть положительным.

Аналитическое выражение зависимости расхода ТЭР от переработки сырья на установке ЭЛОУ-АВТ-3,5 в год представлено следующими уравнениями: $Y=17,989X+250292$; $Y=-5,951X+311720$; $Y=27,308X+171060$; $Y=0,115X-35150$; $Y=-0,0856X+321618$.



Рис. 4. Сравнение материальных затрат на ТЭР

Результаты исследования и их обсуждение

Таким образом, исходя из результатов выполненного регрессионного анализа, можно сделать следующие принципиальные выводы:

– взаимосвязь между расходами ТЭР и объемом переработки сырья для установки ЭЛОУ-АВТ-3,5 очень слабая, о чем свидетельствует низкое значение коэффициента детерминации R^2 (ниже $R^2_{\text{крит}} = 0,332$ (для числа опытов $n=12$);

– взаимосвязь между объемом переработки и объемами потребления газообразного топлива, жидкого топлива, теплоэнергии и сжатого воздуха очень слабая ($R^2 < R^2_{\text{крит}}$);

– взаимосвязь между потреблением электроэнергии и объемом переработки сырья для установки ЭЛОУ-АВТ-3,5 в отчетном году ярко выражена, о чем свидетельствует высокое значение коэффициента детерминации R^2 ;

– различие между зависимостями потребления ТЭР в разных годах должно быть изучено дополнительно, для этого подобный анализ статистических данных должен быть проведен по итогам последующих годов. Это позволит улучшить планирование расходных норм ТЭР при составлении плана производства.

Проанализировав график на рисунке 4, можно сделать вывод о том, что больше всего затрат приходится на тепловую энергию и меньше всего – на газообразное топливо. Дорогостоящая электрическая энергия составляет 27%.

Заключение

Результаты представленных исследований позволили осуществить следующие основные научно-практические мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности рассматриваемой установки:

- разработку и технико-экономическое обоснование мероприятий по повышению энергетической эффективности систем энергообеспечения установки;
- определение теплофизических свойств технологических потоков по установкам, участвующим в рекуперации тепловой энергии;
- разработку и технико-экономическое обоснование мероприятий по оптимизации системы теплообмена технологических потоков;
- составление материальных балансов ректификационных колонн;
- оптимизацию схемы рекуперативного теплообмена установки с использованием метода «ПИНЧ-анализа»: определение энергосберегающего потенциала и целевых экономических значений проекта реконструкции системы рекуперативного теплообмена, разработка энергоэффективной технологической схемы проекта реконструкции системы рекуперативного теплообмена, анализ технико-экономических показателей предлагаемого проекта реконструкции системы рекуперативного теплообмена установки; подготовку отчетных документов по результатам выполнения энерготехнологического обследования.

Разработка технико-экономического предложения по интеграции тепловых потоков ЭЛОУ-АВТ-3,5. При разработке предложений по модернизации было учтено максимальное использование существующего теплообменного оборудования, включая печи, а специалисты предприятия были обучены методам проведения «ПИНЧ-анализа».

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-61-00096, <https://rscf.ru/project/22-61-00096/>.

Список литературы

1. Бобков В.И. Оптимизация химико-технологического процесса сушки в стационарном режиме многослойной массы фосфоритовых окатышей по критерию энергоресурсоэффективности // Современные наукоемкие технологии. 2018. №5. С. 25-29.
2. Семенов Г.Е., Кейно П.П. Применение математических моделей на основе генетических алгоритмов в задачах планирования сложных технических объектов // Прикладная информатика. 2019. Т. 14. № 2. С. 56-62.
3. Булыгина О.В., Емельянов А.А., Росс Г.В., Яшин Е.С. Инвестиции, инновации, импортозамещение: имитационное моделирование с элементами искусственного интеллекта в управлении проектными рисками // Прикладная информатика. 2020. Т. 15. № 1(85). С. 63-102.
4. Читалов Д.И. Разработка модуля для формирования перегородок в расчетных сетках при постановке численных экспериментов с помощью графического интерфейса пользователя платформы OPENFOAM // Прикладная информатика. 2020. Т. 15. № 4. С. 75-86.
5. Бобков В.И., Панченко С.В., Соколов А.М. Выявление потенциала энергоресурсосбережения в электротермических процессах переработки продуктов пеллетирования обжиговых машин конвейерного типа в руднотермических печах // Энергобезопасность и энергосбережение. 2019. № 6(90). С. 32-36.
6. Бобков В.И. Энергосбережение в технологии сушки материала в плотном слое на основе интенсификации теплообмена // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 12-4. С. 585-589.
7. Курилин С.П., Соколов А.М., Прокимов Н.Н. Компьютерная программа для эксплуатационной диагностики электромеханических систем на основе топологического подхода // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 4(94).
8. Borisov V.V., Kurilin S.P., Prokimnov N.N., Chernovalova M.V. Fuzzy cognitive modeling of heterogeneous electromechanical // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 1. С. 32-39.
9. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/gosudarstvennyy_doklad_po_energoeffektivnosti_html (дата обращения: 17.08.2022).
10. Бобков В.И., Дли М.И., Панченко С.В. Обобщенная структурно-функциональная модель инжиниринга и управления экологически безопасной переработкой отвалов горно-обогатительных комбинатов апатит-нефелиновых руд // Успехи современного естествознания. 2019. № 9. С. 48-52.
11. Антипина Е.В., Мустафина С.А., Антипин А.Ф. Программная реализация алгоритма поиска оптимального температурного режима каталитического процесса // Программные продукты и системы. 2022. Т. 35. № 1. С. 106–112.
12. Иванова В.Р., Иванов И.Ю., Киселев И.Н. Разработка автоматизированной системы управления с использованием языка программирования стандарта МЭК 61131-3 // Энергобезопасность и энергосбережение. 2019. № 2. С. 44-49.
13. Ключков М.А. К вопросу информационной поддержки систем управления технологическим процессом // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. № 1. С. 32-43.
14. Dli M.I., Vlasova E.A., Sokolov A.M., Morgunova E.V. Creation of a chemical-technological system digital twin using the Python language // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 1. С. 22-31.