

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 681.5:004.942

doi: 10.30987/2658-6436-2025-4-71-81

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ЕЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

Лариса Геннадьевна Тугашова^{1✉}, Борис Сергеевич Дмитриевский²

¹ Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», г. Альметьевск, Россия

² Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

¹ tugashova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9331-3142>

² dmiboris@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1462-5944>

Аннотация. В настоящее время для устойчивого развития предприятий важное значение имеет анализ проблем энерго- и ресурсосбережения, энергетический менеджмент. Определены общие признаки процессов для задач энергоэффективности. Перечислены задачи и инструменты энергетического менеджмента. Предложена структура предприятия как энерготехнологической системы. С применением методологии функционального моделирования IDEF0 определены этапы разработки системы управления объектами топливно-энергетического комплекса. Выполнен анализ способов управления энерготехнологической системой. Предложен комплекс мероприятий для решения задачи повышения энергоэффективности на предприятиях. Предложены усовершенствованные модели показателей состава сырья и качества продукции. Перечислены усовершенствованные методы и модели прогнозирования потребления тепловой и электрической энергии, производства продукции. Приведены этапы методики усовершенствования управления подготовкой и первичной переработкой нефти на основе ортогонального центрального композиционного плана и экстремального регулирования. Для реконструкции установок предложено применение критерия Фишберна переменной структуры. Полученные результаты могут быть использованы при построении систем управления объектами топливно-энергетического комплекса при решении задач энерго- и ресурсосбережения.

Ключевые слова: топливно-энергетический комплекс, автоматизация, оборудование, коэффициент полезного действия, планирование эксперимента, управление

Для цитирования: Тугашова Л.Г., Дмитриевский Б.С. Постановка задачи управления объектами топливно-энергетического комплекса и ее математическое описание // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2025. №4 (30). С. 71-81. doi: 10.30987/2658-6436-2025-4-71-81.

Original article

Open Access Article

PROBLEM STATEMENT FOR MANAGING FUEL AND ENERGY COMPLEX FACILITIES AND ITS MATHEMATICAL DESCRIPTION

Larisa G. Tugashova^{1✉}, Boris S. Dmitrievsky²

¹ Almetievsk State Technological University Higher School of Oil, Almetievsk, Russia

² Tambov State Technical University, Tambov, Russia

¹ tugashova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9331-3142>

² dmiboris@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1462-5944>

Abstract. Currently, sustainable development of enterprises places great emphasis on analysing energy and resource conservation issues, as well as energy management. The paper identifies common traits of processes relevant to energy efficiency problems; lists tasks and tools of energy management; proposes an enterprise structure as an energy-technological system; outlines stages of developing a managing system of fuel and energy complex facilities with the aid of the IDEF0 functional modelling methodology. The authors analyse methods of energy-technological system control; propose a package of measures for enhancing energy efficiency at enterprises; suggest improved models for raw material composition and product quality indicators. The work enumerates advanced methods and models for predicting thermal and electrical energy consumption, as well as product output; provides steps of a methodology for refining oil preparation and primary processing management based on orthogonal central composite design and extreme regulation. For installation reconstruction, the authors recommend the variable-structure Fishburn criterion. The derived results can be applied when constructing fuel and energy complex facility management systems to address energy and resource conservation challenges.

Keywords: fuel and energy complex, automation, equipment, efficiency coefficient, experiment planning, management

Введение

Устойчивое развитие предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК) обеспечивается комплексом мероприятий, направленных на повышение эффективности использования сырья и топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), снижения выбросов и отходов в окружающую среду.

Важное значение имеет анализ проблем энерго- и ресурсосбережения, энергетический менеджмент. В общем виде предприятие ТЭК представляет собой энерготехнологическую систему. В составе такой системы можно выделить технологическое и теплоэнергетическое оборудование, систему управления технологическим процессом, персонал, нормативную документацию. Для предприятия ТЭК можно выделить следующие объекты:

- источники теплоты, предназначенные для производства и передачи теплоты теплоносителями;
- энергомеханическое оборудование (электродвигатели, насосы, вентиляторы, транспортер), предназначенное для транспортировки технологических и энергетических потоков;
- теплообменное оборудование, передающее теплоту от одного теплоносителя к другому;
- теплообменные аппараты, применяющиеся для разделения поступающей смеси на компоненты, фракции;
- вспомогательное оборудование, обеспечивающее хранение сырья, промежуточной и конечной продукции, очистку оборудования, утилизацию тепла продуктов сгорания, снабжение паром, водой, сжатым воздухом и т.д.;
- потребители теплоты, например, технологическое оборудование и различные здания предприятия или городские здания (в зависимости от назначения системы теплоснабжения).

Вышеперечисленные объекты применяются в составе установок подготовки нефти и газа, переработки нефти и газа, в системах теплоснабжения, биотехнологических процессах.

Несмотря на то, что эти процессы отличаются типом сырья, температурными режимами, они имеют общие признаки:

- взаимодействие с окружающей средой;
- потребление, производство, преобразование энергии;
- существенные энергетические затраты;
- схожее оборудование и принципы управления им;
- необходимость оптимизации расходов теплоносителей.

Постановка задачи

Для успешного решения проблем энерго- и ресурсосбережения на первом этапе проводится энергоаудит. Составляется контрольная карта технического энергоаудита исследуемого объекта, формулируются предложения по снижению потерь. Выявить проблемы энерго- и ресурсосбережения помогают материальные и энергетические балансы. В соответствии с нормативными документами они могут быть составлены для отдельного предприятия, региона, отрасли в целом. Принимаются и периодически обновляются различные энергетические стратегии и программы, например, энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года, стратегия развития топливно-энергетического комплекса Республики Татарстан на период до 2030 года, стратегия социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года Республики Татарстан.

Для выработки управленческих решений по энергосбережению необходимо организовать систематизированный анализ энерго- и теплопотребления [1]. В задачах оценки текущего состояния, прогнозирования потребления ТЭР и производства продукции необходимы базы данных.

При применении автоматизации и информационных технологий в энерго- и

ресурсосбережении применяются средства измерения и регулирования различных параметров, основными из которых являются расход, температура теплоносителей, давление, составы технологических потоков, частота вращения электродвигателей, мощность.

Задачи управления объектами ТЭК решаются с помощью математического моделирования и оптимизации, а также с использованием различных вычислительных алгоритмов и специализированного программного обеспечения. Модели технологического и энергетического оборудования определяются дифференциальными уравнениями, передаточными функциями, моделями в пространстве состояний, уравнениями регрессии. Кроме уравнений материального и энергетического (в частности, теплового) балансов, актуальным является эксергетический расчет. Для выбора оптимального варианта управления объектами ТЭК используются методы оптимизации, например, метод множителей Лагранжа, сканирования, генетические алгоритмы, метаэвристические методы и др.

Для управления технологическим оборудованием применяются одноконтурные, каскадные и адаптивные системы управления. При управлении компрессорами, насосами, вентиляторами применяется частотно-регулируемый электропривод (ЧРЭП). Частотно-регулируемый электропривод – это система управления частотой вращения ротора асинхронного двигателя, состоящая из электродвигателя и преобразователя частоты.

Этапы разработки системы в нотации *IDEF0*

Этапы разработки системы управления объектами ТЭК, ориентированной на повышение эффективности энерго- и ресурсосбережения и энергопотребления, представлены с применением методологии функционального моделирования *IDEF0*. Функциональная модель включает следующие элементы: контекстная диаграмма процесса (рис. 1), отражающая контекст процесса в нотации *IDEF0*, диаграммы подпроцессов (рис. 2 – 5), отражающие декомпозицию процесса на более мелкие функции. На рис. 2 приведена детализация контекстной диаграммы процесса. На рис. 3 – 5 показаны подпроцессы с соответствующими номерами.

Следует отметить, что описание каждой диаграммы процесса и подпроцессов не приводится. Рассматриваются только те диаграммы, которые соответствуют пути к «мероприятиям по усовершенствованию энерго- и ресурсоэффективности». Затем приводится их подробное описание.

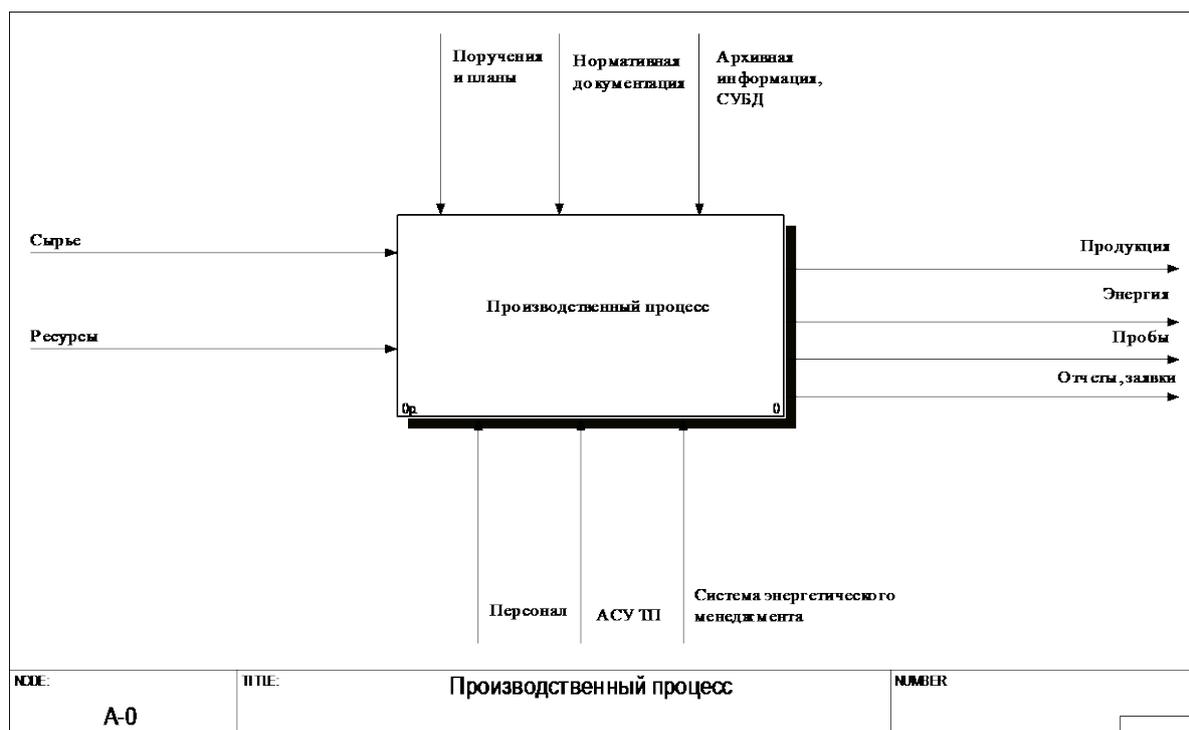


Рис. 1. Контекстная диаграмма процесса
Fig. 1. Contextual process diagram

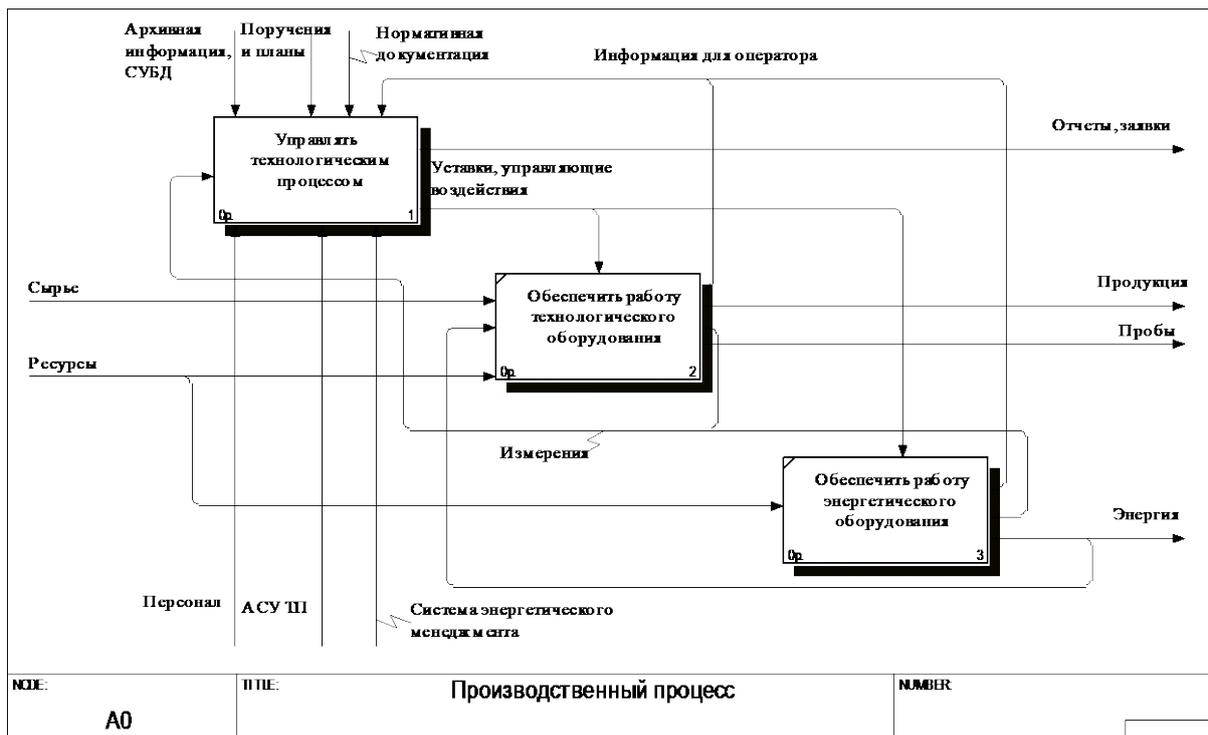


Рис. 2. Детализация контекстной диаграммы
 Fig. 2. Context Diagram details

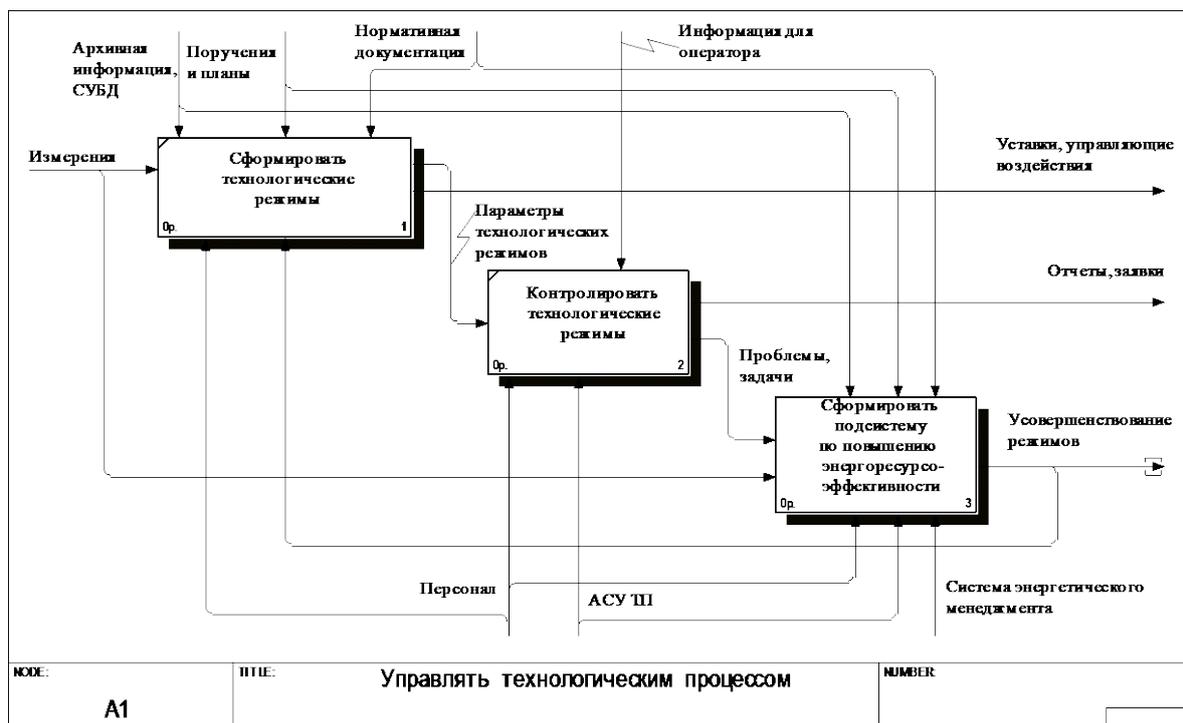


Рис. 3. Диаграмма подпроцесса A1
 Fig. 3. Subprocess diagram A1

Персонал предприятия осуществляет контроль за соблюдением технологических режимов, выполняет отчеты, формирует заявки. Для обеспечения заданных режимов работы осуществляются измерения технологических параметров и управление процессом с применением АСУ ТП.

На диаграмме подпроцессов (см. рис. 3) присутствует подсистема по повышению энергоэффективности.



Рис. 4. Диаграмма подпроцесса A1.3
Fig. 4. Subprocess diagram A1.3

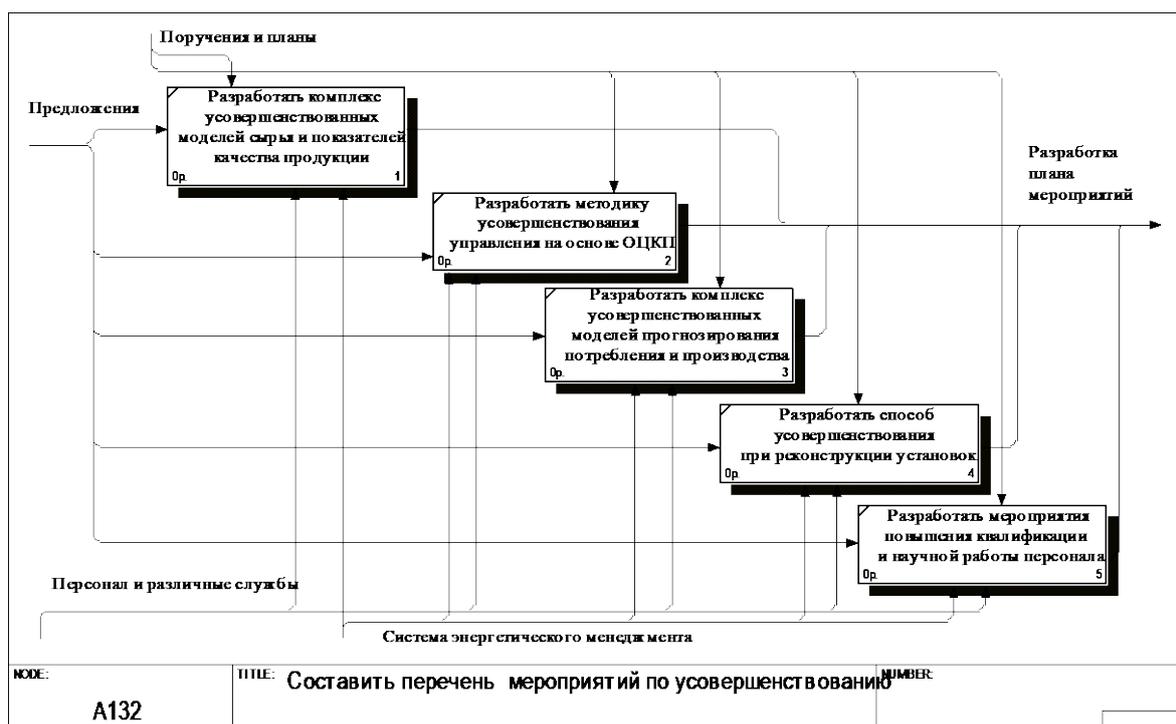


Рис. 5. Диаграмма подпроцесса A1.3.2
Fig. 5. Subprocess diagram A1.3.2

Мероприятия по повышению энергоэффективности и их математическое описание

В соответствии с проблемами и задачами ТЭК, приведенными на рис. 4 и 5, разработан общий подход к решению задачи повышения энергоэффективности систем ТЭК.

1. Предложены комбинированные модели состава сырья (кривая истинных температур кипения (ИТК) нефти) вида «кубическая парабола-арктангенс». Предложены усовершенствованные модели показателей качества продукции как развитие ранее полученных (метод главных компонент, авторегрессионные модели с распределенными лагами, *ARIMA*+тренд в виде суммы полинома и тригонометрической функции и др.).

Например, такими показателями качества могут быть температуры начала и конца кипения нефтяных фракций, влагосодержание, содержание каких-либо компонентов в выходных потоках и т.д. Их значения определяются косвенно виртуальными анализаторами по зависимостям от технологических и других параметров. Полученные модели могут применяться в следующей методике.

2. Для обнаружения резервов экономии ТЭР выполняются материальный, энергетический, эксергетический балансы. Материальный и тепловой балансы составляются исходя из законов сохранения материи и энергии. Под потерями в этих балансах подразумевается переход вещества из системы в окружающую среду. При необратимых процессах происходит ухудшение качества энергии и необратимые потери эксергии. Поэтому закон сохранения для эксергии неприменим. В табл. 1 приведены виды эксергии.

Таблица 1
Table 1

Виды эксергии для некоторого технологического оборудования [2]
Types of exergy for some technological equipment [2]

Поток	Вид эксергии		
	Концентрационная	Реакционная	Термическая
Трубчатые печи			
Воздух	-	-	+
Топливо	-	+	+
Продукты горения	+	-	+
Сырье (нефть)	-	-	+
Ректификационные колонны			
Сырье (нефть)	-	-	+
Перегретый водяной пар	-	-	+
Нефтепродукты	+	-	+

Значение эксергии зависит от параметров окружающей среды. Окружающая среда – это система, параметры которой постоянны и не зависят от рассматриваемой системы. Окружающая среда характеризуется температурой, давлением и составом. Эксергия окружающей среды равна нулю. Для трубчатых печей в качестве окружающей среды удобно выбирать воздух, для схем разделения – сырьевой технологический поток.

В эксергетическом методе каждый элемент системы рассматривается как самостоятельная термодинамическая система [3].

Выполняются материальный, энергетический и эксергетический расчеты. Проведенный анализ научной литературы показал, что существует достаточное количество работ по выполнению различных балансов и термодинамических методик [4 – 7]. Однако не выявлен выход полученных результатов на регулирование параметров технологического процесса и анализ качества переходных процессов. В связи с этим для многомерных систем (подготовка и первичная переработка нефти в составе малого нефтеперерабатывающего завода) предложена следующая методика.

Составляются имитационные динамические модели технологического объекта. Они необходимы при моделировании систем управления в качестве заменителя объекта. Шумы в сигналах параметров удаляются с помощью фильтра Калмана (классические алгоритмы или сигма-точечный фильтр [8]).

Затем строится математическая модель объекта на основе балансов или с применением программ технологического моделирования (*Chemcad*, *DWSim* и др.). Она является основой для проведения планирования эксперимента.

Проводится ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП) для 3...6 факторов.

На первом шаге ОЦКП по общеизвестным формулам определяются центр плана X^0_i , шаг варьирования h_i , звездное плечо α , смещение значений квадратов факторов a , уровни варьирования $(-\alpha, 1, 0, +1, \alpha)$.

На втором шаге выполняется построение матрицы планирования с учетом найденных на первом шаге параметров ОЦКП. Значения выходных параметров y_j определяются по

статической модели.

По результатам опытов полученного плана формируется квадратичный полином (пример для трех факторов):

$$y_j(\bar{x}) = b_0^*x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + \dots \\ \dots + b_{23}x_2x_3 + b_4(x_1^2 - a) + b_5(x_2^2 - a) + b_6(x_3^2 - a), \quad (1)$$

где $b_1 \dots b_3$ – коэффициенты влияния одиночных факторов; b_{12}, b_{13}, b_{23} – коэффициенты взаимного влияния пар факторов; $b_4 \dots b_6$ – коэффициенты влияния квадратов факторов; $x_0 \dots x_3$ – кодированные факторы; a – смещение значений квадратов факторов; y_j – выходные параметры.

Коэффициенты уравнения регрессии (1) вычисляются по формулам (пример для трех факторов):

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} y_j}{\sum_{j=1}^N x_{ij}^2}; \quad i = 0, 6; \quad j = 1, 15.$$

После проверки значимости b -коэффициентов и исключения из модели незначимых коэффициентов осуществляется преобразование уравнения регрессии (1) в стандартную форму:

$$y_j(\bar{x}) = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{13}x_1x_3 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2 + b_6x_3^2, \quad (2)$$

где $b_0 = b_0^*x_0 - a(b_4 + b_5 + b_6)$.

Построение зависимостей (1), (2) возможно в двух вариантах. В первом случае матрица планирования составляется для всей установки в целом. В этом случае будет больше варьируемых факторов, выходных параметров и, соответственно, вычислений. Во втором случае установка делится на части и проводится построение плана для отдельных частей. Параметр выхода предыдущего звена технологической цепочки учитывается как параметр входа следующего звена. В этом случае матрица планирования составляется отдельно на каждую часть, но число варьируемых факторов в ней сокращается и, соответственно, сложность вычислений снижается.

На третьем шаге выполняется проверка адекватности полученной модели.

В результате ОЦКП выводятся уравнения регрессии (2), где входными параметрами являются возмущающие параметры и варьируемые управляющие параметры. В модели учитываются измеряемые возмущающие параметры. Все управляющие параметры разделены на 2 группы: постоянные и переменные (варьируемые). При проведении ОЦКП меняются в определенных диапазонах только переменные факторы. Выходными параметрами являются, в частности, температуры.

Затем находится зависимость критерия (критериев) эффективности от влияющих факторов и выходных параметров. Критерий эффективности может быть энергетический (например, тепловая нагрузка, энергетический КПД), эксергетический (сумма эксергетических КПД отдельных объектов) или производительность (выпуск) по каким-либо видам продукции. В случае эксергетического критерия определяется сумма эксергетических КПД отдельных объектов установки, так как единый эксергетический КПД в этом случае нельзя найти. То есть образуется многокритериальная задача.

Зависимость критерия эффективности от влияющих факторов и выходных параметров имеет следующий вид:

$$Z = f(\bar{u}, \bar{c}, \bar{v}, \bar{y}), \\ g_i(\bar{x}, \bar{c}, \bar{y}) \leq b_i, (i = 1, 2, \dots, m), \quad (3)$$

где \bar{y} – выходные параметры; \bar{u} – варьируемые управляющие параметры; \bar{v} – измеряемые возмущающие параметры; \bar{c} – постоянные параметры. Параметры \bar{u} и \bar{v} образуют вектор

влияющих факторов \bar{x} , $g_i(\bar{x}, \bar{c}, \bar{y})$ – ограничения.

Решается задача оптимизации с применением метода множителей Лагранжа с учетом ограничений на технологические и другие параметры, выпуск продукции, показатели качества продукции.

Необходимо минимизировать (максимизировать) функцию Z при наличии m ограничений:

$$g_i(\bar{x}, \bar{c}, \bar{y}) \leq b_i (i = 1, 2, \dots, m).$$

Ограничения в виде неравенств могут быть преобразованы в ограничения в виде равенств добавления к каждому из них неотрицательной ослабляющей переменной γ_i^2 (переменная γ_i^2 всегда положительна) [9]:

$$g_i(\bar{x}, \bar{c}, \bar{y}) - b_i = 0. \quad (4)$$

Таким образом, задача сводится к минимизации (максимизации) функции Z при наличии m ограничений в виде равенства (4).

Функция Лагранжа имеет вид:

$$F(\bar{x}, \bar{c}, \bar{y}, \lambda, \gamma) = Z + \sum_{i=1}^m \lambda_i [g_i(\bar{x}, \bar{c}, \bar{y}) + \gamma_i^2 - b_i]. \quad (5)$$

При изменении возмущений возмущающие параметры меняются и управляющие параметры пересчитываются. Все управляющие параметры определяются одновременно, не нужно настраивать отдельно каждый контур. Учитываются возмущения, в том числе параметр окружающей среды (например, температура воздуха). Температура воздуха выбирается среднегодовая для региона (с определенным диапазоном изменения). При необходимости могут учитываться зимний и летний режимы.

При управлении трубчатыми печами и котельными установками важным является контроль и регулирование оптимального соотношения «топливный газ – воздух», коэффициента избытка воздуха. Для схем разделения (в частности, колонных аппаратов) одним из параметров, влияющих на энергоэффективность, является флегмовое число. Существует нелинейная зависимость выходных параметров от перечисленных факторов, что позволяет применять системы экстремального регулирования.

При управлении действующим технологическим объектом поисковые алгоритмы вносят дополнительные возмущения, и очень редко эти возмущения улучшают его работу [10]. Поэтому применяется беспойсковый алгоритм. В случае, если квадратичные коэффициенты в каких-то случаях исключаются, то появляется линейная зависимость между параметрами.

Таким образом, цель управления – достижение максимальной суммы эксергетических КПД отдельных объектов технологической установки, минимальных тепловых нагрузок (при фиксированной производительности) или максимальной производительности по видам продукции (при фиксированных тепловых нагрузках) в условиях воздействия возмущений и учета ограничений на параметры процесса и качества продукции.

Задача управления формулируется следующим образом: найти оптимальные решения по управлению технологической установкой, при которых достигается максимум (минимум) выбранного критерия эффективности с учетом воздействия возмущений и заданных ограничений.

$$F(\bar{c}, \bar{y}, \bar{g}, \bar{v}, \bar{u}^*) = \max_{\bar{u}^* \in \bar{x}} Z,$$

или

$$F(\bar{c}, \bar{y}, \bar{g}, \bar{v}, \bar{u}^*) = \min_{\bar{u}^* \in \bar{x}} Z, \quad (6)$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} \bar{y}_j &\leq \bar{y}_j \leq \bar{y}_j, j = \overline{1, n}; \\ \bar{g}_i &\leq \bar{g}_i \leq \bar{g}_i, i = \overline{1, m}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{u}_l &\leq \bar{u}_l \leq \bar{u}_l, \quad l = \overline{1, k}; \\ \bar{x}_s &\leq \bar{x}_s \leq \bar{x}_s, \quad s = \overline{1, p}; \end{aligned}$$

где \bar{u}^* – решения по управлению.

Для сравнения с полученными системами выбираются разные системы управления, например, комбинированные, каскадные, каскадно-комбинированные, адаптивные с идентификационной моделью и др. Их параметры рассчитываются по общепринятым методикам.

Новизна заключается в том, что результаты моделирования с применением ОЦКП и оптимизации выводятся на регулирование параметров технологических процессов.

Для систем с малым числом параметров применимы одноконтурные или комбинированные САР (например, индивидуальные тепловые пункты, теплообменники). Для энергетического оборудования возможно применение ЧРЭП. Как дополнительный фактор можно учитывать возмущение. Следует отметить, что не на все исполнительные устройства существует возможность установки ЧРЭП.

3. При прогнозировании потребления ТЭР и производства продукции используются аналитические методы расчета норм потребления и экспериментальные методы. Предложен комплекс усовершенствованных экспериментальных методов и моделей прогнозирования потребления тепловой и электрической энергии, производства продукции на уровне региона, города, предприятия. В зависимости от сложности исходных данных, учета входных параметров применяются разные методы. Применяются следующие методы прогнозирования потребления ТЭР и производства продукции: различные авторегрессионные модели, рекуррентные нейронные сети, разделение временного ряда на компоненты, ряд Фурье, методы, в которых прогнозируется не сама функция с постоянными коэффициентами, а коэффициенты функции и др.

В качестве входных факторов могут быть режимные технологические параметры, физико-химические свойства и т.д. С одной стороны, факторы влияют на выходной параметр и могут улучшать результаты прогнозирования. С другой стороны, при учете факторов появляется необходимость прогнозирования самих факторов, что вносит свой вклад в общую погрешность моделей. В качестве входных факторов могут быть не только непрерывные переменные, но и дискретные (индикаторные).

Примерами дискретных факторов могут быть наличие/отсутствие ремонтов, номер режимов работы, учет периодичности (сезонности) и т.п. Плановые ремонты несложно учесть в модели в качестве факторов. Для аварийных остановок и ремонтов необходимо учитывать результаты подсистемы диагностики оборудования. Разработка такой подсистемы является отдельной задачей и в рамках нашего исследования не рассматривается.

4. При реконструкции технологических установок могут применяться пинч-анализ (для сложных систем) или метод температурного соответствия (для систем теплоснабжения). Для выбора установок, нуждающихся в реконструкции (например, котельных), предложено применение критерия Фишберна. Данный критерий может также применяться при сравнении и выборе различных вариантов реконструкции установки. Для этого принимаются несколько значимых факторов, по которым и сравниваются варианты реконструкции.

В одном случае факторы могут быть равнозначными:

$$w_j = \frac{1}{n},$$

где n – число всех факторов.

В другом случае принимается, что факторы отличаются значимостью. Тогда веса предлагается определять по шкале Фишберна [11]:

$$w_j = \frac{2(n-j+1)}{n(n+1)}, \quad j = 1 \dots n,$$

где j – ранг значимости (номер) фактора.

Возможен вариант, когда факторы имеют веса смешанной значимости.

В любом случае сумма весов w_j должна быть равна 1.

С учетом рассчитанных весов факторов формула интегрального показателя имеет следующий вид:

$$P_i = \sum_{j=1}^n w_j X_{ij}, \quad (7)$$

где X_{ij} – нормированное значение фактора.

Особенность предлагаемого интегрального показателя – его переменная структура. Привязку факторов к переменным X_{ij} в соответствии с их значимостью назначает исследователь. Затем формируется последовательность значимости факторов определенной структуры, вычисляется значение критерия (7), по которому выбирается оптимальный вариант.

5. При проведении систематического повышения квалификации персонала, а также целевой подготовки специалистов в ВУЗе предлагается методика выбора научных журналов для публикации научных работ, в том числе с применением критерия Фишберна с переменной структурой (7) и разработанной информационной системы.

Также для этих целей предложен вариант проведения интеллектуальной викторины по направлению «Автоматизация и управление технологическими процессами» [12].

Заключение

Для решения задач энергоэффективности приведены общие признаки процессов ТЭК, цели и инструменты энергоменеджмента. С применением методологии функционального моделирования *IDEFO* определены этапы разработки системы управления объектами ТЭК. Приведено подробное описание диаграмм, соответствующих «мероприятиям по усовершенствованию энерго- и ресурсоэффективности». Сформированы предложения по проведению мероприятий для повышения энерго- и ресурсосбережения на предприятиях ТЭК. Предложены усовершенствованные модели показателей состава сырья и показателей качества продукции. Перечислены усовершенствованные методы и модели прогнозирования потребления тепловой и электрической энергии, производства продукции. Их применение возможно на уровне предприятия, региона, отрасли. Приведены этапы методики усовершенствования управления подготовкой и первичной переработкой нефти с применением ОЦКП и экстремального регулирования. Поставлена задача усовершенствованного управления объектами ТЭК, приведено ее математическое описание. Для реконструкции установок предложено применение критерия Фишберна переменной структуры. Перечислены мероприятия по проведению систематического повышения квалификации персонала, а также целевой подготовки специалистов в ВУЗе. Полученные результаты могут быть использованы при построении систем управления объектами ТЭК при решении задач энерго- и ресурсосбережения, энерго- и теплотребления.

Список источников:

1. Черномуров Ф.М., Ануфриев В.П., Теслюк Л.М. Энерго- и ресурсосбережение в нефтегазохимическом комплексе: учебное электронное текстовое издание // Под ред. И.В. Рукавишниковой. – Екатеринбург, 2014. – 253 с.
2. Тугашова Л.Г. Повышение энергоэффективности и производительности на объектах топливно-энергетического комплекса с применением методов моделирования и оптимизации: монография. – Альметьевск: АГТУ «ВШН», 2025. – 101 с.
3. Тишин О.А., Харитонов В.Н., Гатапова Н.Ц., Колиух А.Н. Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии: учебное пособие. – Тамбов: Изд. ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 92 с.
4. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. – М., Энергия, 1973. – 296 с.

References:

1. Chernomurov F.M., Anufriev V.P., Tesluk L.M. Energy and Resource Conservation in Petrochemical Complex [Internet]. Rukavysnikov IV, editor. Yekaterinburg; 2014.
2. Tugashova L.G. Enhancing Energy Efficiency and Productivity at Fuel and Energy Complex Facilities Using Modelling and Optimization Methods. Almetievsk: ASTU HSO; 2025.
3. Tishin OA, Kharitonov VN, Gatapova NC, et al. Theoretical Foundations of Energy and Resource Conservation in Chemical Technology. Tambov: Tambov State Technical University; 2012.
4. Brodiansky V.M. The Exergy Method of Thermodynamic Analysis. Moscow: Energy; 1973.

5. Сажин В.Б., Сажин Б.С. Методы регулярного теплового режима для теплофизического анализа материалов как объектов сушки // Интернаука. – 2017. – Т. 1. – № 2. – С. 154-159.
6. Методика выбора экологически устойчивых промышленных зон Татарстана для развития обрабатывающих производств / Мешалкин В.П., Шинкевич А.И. и др. // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26. – № 4. – С. 30-36.
7. Юшкова Е.А., Лебедев В.А. Повышение энергоэффективности вакуумной установки перегонки мазута с помощью пинч-анализа // Записки Горного института. – 2023. – Т. 261. – С. 415-427.
8. Тугашова Л.Г. Применение фильтра Калмана для идентификации параметров процессов нефтепереработки // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн. – 2018. – С. 602-606.
9. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
10. Растрин Л.А. Системы экстремального управления. – М.: Наука, 1974. – 630 с.
11. Фишберн П.С. Теория полезности для принятия решений / Пер. с англ. В.Н. Воробьевой и А.Я. Кируты // Под ред. Н.Н. Воробьева. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
12. Тугашова Л.Г. Программа для разработки и проведения интеллектуальной игры «Автоматизация и управление технологическими процессами». – Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025614173, 19.02.2025. Заявка № 2025612244 от 12.02.2025.
5. Sazhin V.B., Sazhin B.S. Regular Heat Transfer Methods for Thermophysical Analysis of Materials As Drying Objects. Internauka. 2017;1(2):154-159.
6. Meshalkin VP, Shinkevich AI, et al. The Methodology of Selecting Environmentally Sustainable Industrial Areas in Tatarstan for the Development of Manufacturing Industries. Ecology and Industry of Russia. 2022;26(4):30-36.
7. Yushkova E.A., Lebedev V.A. Enhancement of Energy Efficiency of the Vacuum Oil Distillation Unit Using Pinch Analysis. Journal of Mining Institute. 2023;261:415-427.
8. Tugashova LG. Application of the Kalman Filter for Identification of Refinery Process Parameters. In: Proceedings of the 5th International Scientific-Practical Conference on Virtual Modelling, Prototyping and Industrial Design; 2018 Nov 14-16; Tambov: Tambov State Technical University: 2018. p. 602-606.
9. Bandy B. Basic Optimization Methods. Moscow: Radio i svyaz; 1988.
10. Rastrigin L.A. Extremal Control Systems. Moscow: Nauka; 1974.
11. Fishburn P.S. Utility Theory for Decision Making. Vorobyeva VN, Kiruta AYа, translators. Vorobyev NN, editor. Moscow: Nauka; 1978.
12. Tugashova L.G. Software for Development and Running of Intellectual Game “Automation and Control of Technological Processes”. Certificate of State Registration of Database RF, no. 2025614173; 2025 Feb 19.

Информация об авторах:

Тугашова Лариса Геннадьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры «автоматизации и информационных технологий» Альметьевского государственного технологического университета «Высшей школы нефти».

Дмитриевский Борис Сергеевич

доктор технических наук, профессор кафедры «информационных процессов и управления» Тамбовского государственного технического университета.

Information about the authors:

Tugashova Larisa Gennadievna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automation and Information Technologies of Almetievsk State Technological University Higher School of Oil

Dmitrievsky Boris Sergeevich

Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Information Processes and Management of Tambov State Technical University.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.07.2025; одобрена после рецензирования 03.09.2025; принята к публикации 19.09.2025.

The article was submitted 27.07.2025; approved after reviewing 03.09.2025; accepted for publication 19.09.2025.

Рецензент – Малаханов А.А., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Malakhanov A.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.