Добыча полезных ископаемых

DOI: 10.35634/UdSU.2026.65.50.012

УДК 681.5

Л.Г. Тугашова, Б.Н. Латипов

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ТЕПЛОВЫМ ПУНКТОМ И ПОДГОТОВКОЙ НЕФТИ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И МЕТОДА ТЕМПЕРАТУРНОГО СООТВЕТСТВИЯ

Аннотация. В работе рассматривается задача синтеза комбинированной системы управления индивидуальным тепловым пунктом. Разработана нелинейная модель системы «ИТП-здание» в среде MatLab/Simscape. Проведена процедура линеаризации модели в квазистационарной рабочей точке, и на её основе спроектированы статический и динамический компенсаторы возмущения. Сравнительный анализ показал, что применение динамического компенсатора позволяет улучшить качество переходных процессов за счёт устранения перерегулирования. Способом повышения энергоэффективности на установках комплексной подготовки нефти является применение индивидуального теплового пункта. В качестве теплового источника используются продуктовые потоки. Определены свойства технологических потоков блока стабилизации нефти. С помощью VBA Excel осуществлена обработка данных и решение задачи методом температурного соответствия. Вычислены оптимальные технологические параметры при реконструкции установки.

Ключевые слова: моделирование, температура, индивидуальный тепловой пункт, комбинированное управление, технологические потоки, комплексная подготовка нефти.

Для цитирования: Тугашова Л.Г., Латипов Б.Н. Усовершенствование управления индивидуальным тепловым пунктом и подготовкой нефти на основе физического моделирования и метода температурного соответствия // Управление техносферой: электрон. журнал, 2026. Т.9. Вып.2. С. 454–472. DOI: 10.35634/UdSU.2026.65.50.012

Введение

На сегодня важным аспектом работы индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) является автоматический контроль и регулирование температуры, давления и расхода теплоносителей. Это позволяет поддерживать оптимальные условия работы системы и обеспечивать ее надежную и безопасную работу.

Обзор литературных источников показал следующее. В работе [1] приведена модернизация ИТП для повышения эффективности централизованных городских систем теплоснабжения. В статье [2] предложена методика повышения качества регулирования температуры в административно-общественном здании с применением комбинации нейронной сети и ПИД-регулятора.

В работе [3] в качестве примера применения технологии цифровых двойников осуществлена разработка интеллектуальной системы мониторинга и диагностики технического состояния теплоэнергетического оборудования. В статье [4] предложен вариант имитационного моделирования систем теплоснабжения и отопления в *Simulink/Simscape*.

В работе [5] рассмотрены преимущества перехода от центральных тепловых пунктов к ИТП в системе городского теплоснабжения. Показано, что применение ИТП позволяет повысить управляемость теплоснабжения на уровне отдельного здания, оптимизировать параметры отопления и горячего водоснабжения.

В статье [6] предложено техническое решение автоматизированного ИТП с системой рекуперации вторичной тепловой энергии, что соответствует направлению повышения энергоэффективности тепловых пунктов за счет использования вторичных энергетических ресурсов. В работах [7, 8] рассмотрено повышение энергоэффективности технологических установок с применением пинч-анализа. Приведенный подход близок к задаче оптимизации теплообменных систем и может использоваться при анализе температурного соответствия технологических потоков.

Для моделирования режимов работы ИТП применяются такие программные средства, как *Simulink/Simscape, Modelica, ZuluThermo, EnergyCS* Тепло, *Model Studio CS*.

Одним из самых важных компонентов ИТП является пластинчатый теплообменник, эффективность которого зависит от множества факторов, включая расходы теплоносителей и конфигурацию потоков. Управление теплоотдачей в таких системах реализуется различными способами, одним из основных которых является регулирование расхода теплоносителя посредством управления двухходового регулирующего клапана.

Разработана комплексная физическая модель двухконтурного ИТП с детализированной моделью тепловой нагрузки здания в среде *Simulink/Simscape*. Выполнена последующая линеаризация полученной нелинейной модели в квазистационарной рабочей точке и произведён синтез комбинированной системы управления, сочетающей обратную связь и компенсацию внешних возмущений для улучшения качества переходных процессов.

Схема разработанной двухконтурной модели ИТП представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема модели ИТП

Модель состоит из двух гидравлически изолированных контуров, связанных пластинчатым теплообменником. Такой подход к моделированию тепловых пунктов с детальным описанием гидравлики и теплообмена на основе паспортных данных оборудования соответствует методологии, предложенной в работе [9]. Свойства компонентов системы заданы в соответствии с паспортными данными на основе реального теплового пункта. Так для теплоносителя (воды) были определены теплофизические свойства для средних температур в первичном и вторичном контурах. Массовые расходы насосов

установлены равными 13,67 кг/с и 11,04 кг/с для греющего и нагреваемого контура соответственно.

Первичный (греющий) контур (рис. 2) имитирует подачу теплоносителя от внешней тепловой сети теплообменнику (1), его площадь теплообмена задана равной 20 м^2, а общий коэффициент теплопередачи – 7860,7 Вт/(м^2·К) при противоточной схеме движения сред. В контуре свойства теплоносителя и постоянный массовый расход, формируемый насосом. Управление тепловым потоком осуществляется с помощью двухходового регулирующего клапана (2), положение которого определяется сигналом от ПИ-регулятора (3).

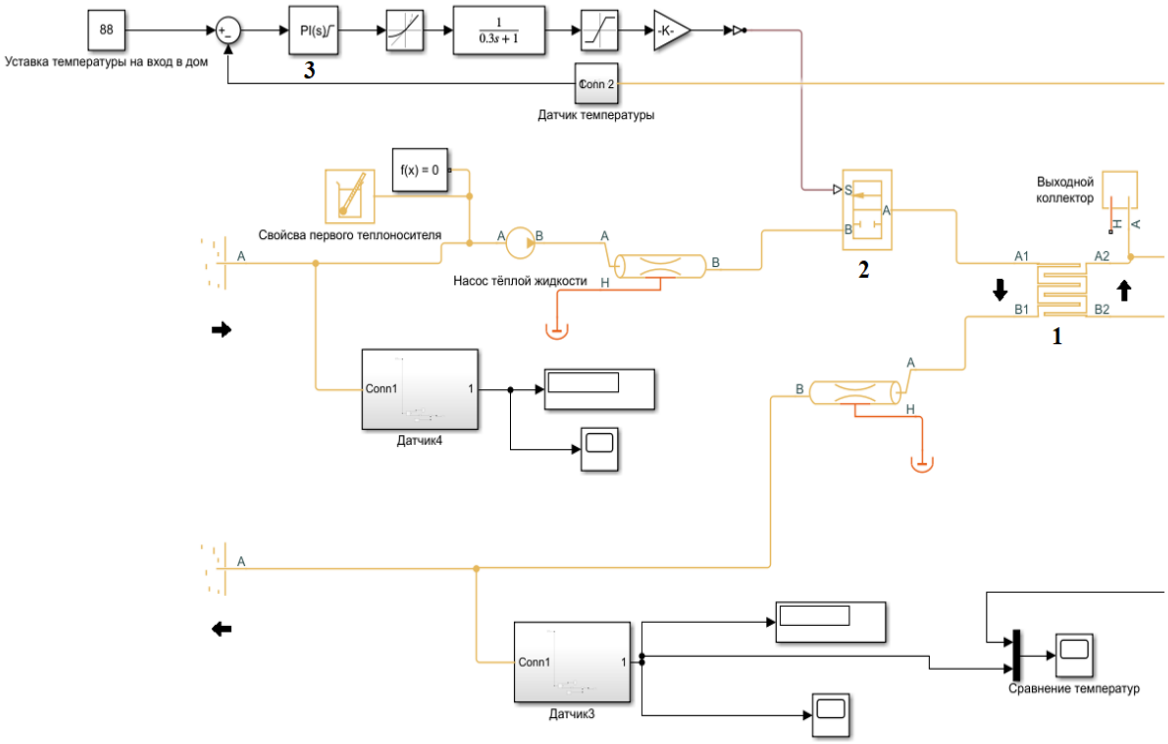


Рис. 2. Схема теплового контура

Вторичный (нагреваемый) контур (рис. 3) представляет собой домовую систему отопления. Он также включает насос, обеспечивающий циркуляцию теплоносителя, и подключен к тепловой нагрузке – модели здания.

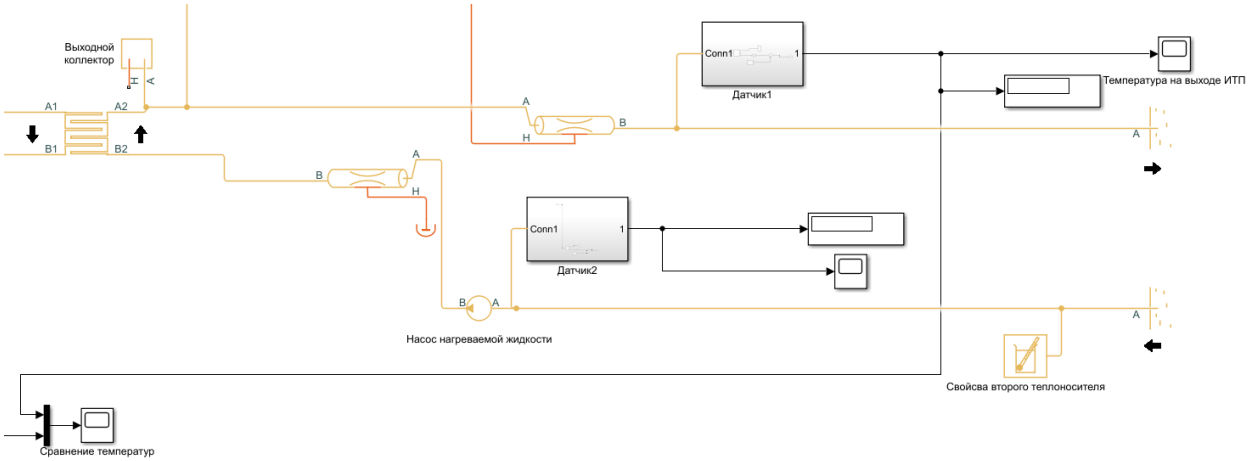


Рис. 3. Схема нагреваемого (домового) контура

Для корректного анализа системы управления была разработана детализированная тепловая модель нагрузки. Как показано на рис. 4, модель здания реализована в виде совокупности параллельно соединённых подсистем, имитирующих основные ограждающие конструкции: «Стены», «Окна», «Дверь», «Пол» и «Крыша».

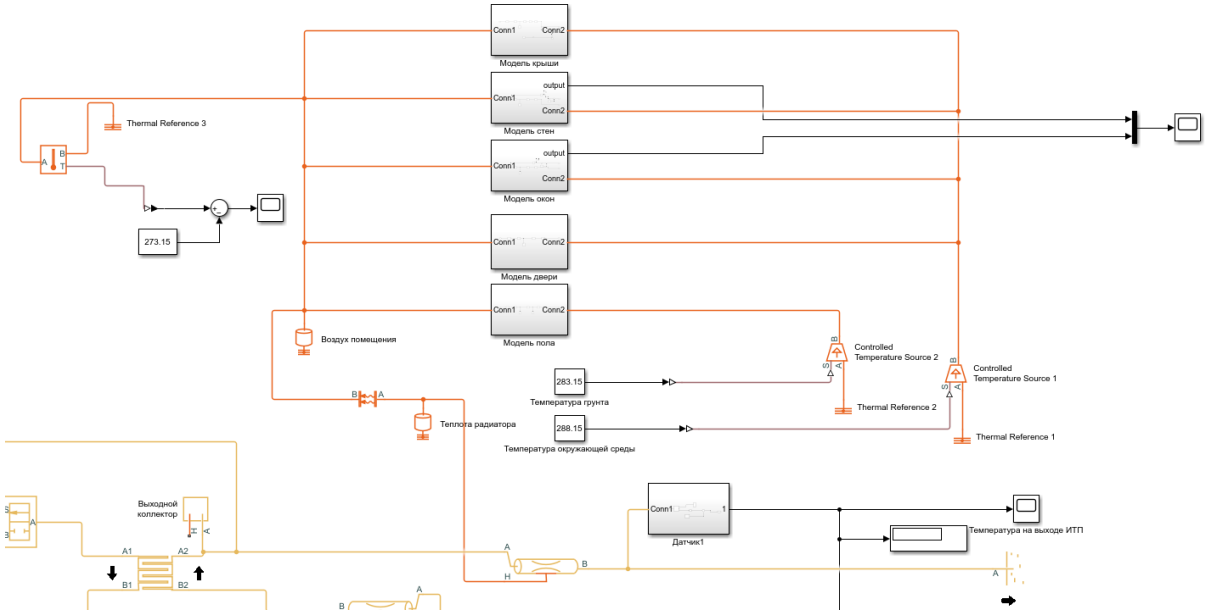


Рис. 4. Схема модели тепловой нагрузки

Система из представленных блоков составлена согласно источникам [10-12]. Каждая из этих подсистем представляет собой цепочку, состоящую из элементов теплового сопротивления (моделирующих конвективный

теплообмен и теплопроводность) и тепловой ёмкости (моделирующей тепловую инерцию материалов). Такой подход позволяет адекватно описывать динамические процессы накопления и отдачи тепла конструкциями, что приводит к задержкам в изменении температуры воздуха в помещении. Подобный подход к интеграции погодного блока, учитывающего в том числе влияние солнечной радиации, в общую модель здания также используется в [9].

Нелинейные свойства исходной модели затрудняет аналитический синтез регуляторов и анализ устойчивости. Для применения классических методов теории управления была проведена процедура линеаризации. В исходной модели были вынесены все внешние воздействия (температура на улице и уставка температуры на выходе дома с регулятором) и управляющее воздействие ПИ-регулятора в отдельный блок *Subsystem*. Внутри *Subsystem* оставим основные физические компоненты модели (рис. 5).

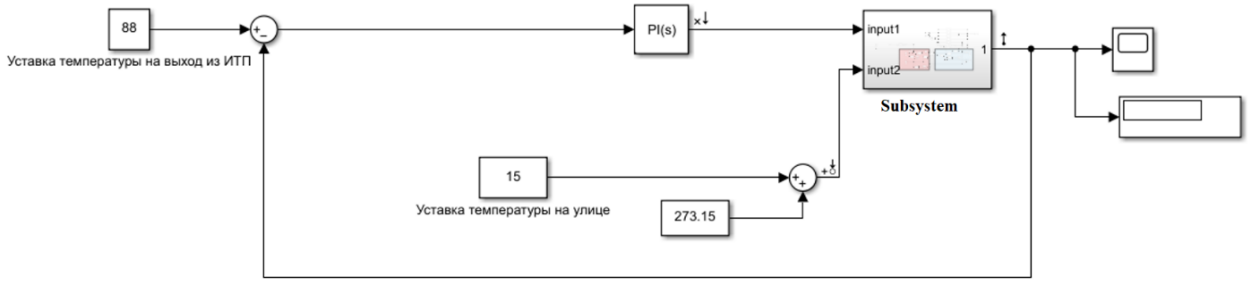


Рис. 5. Исходная моделируемая система

Линеаризация проводилась в окрестности квазистационарной рабочей точки. Это означает, что система сначала была симулирована до момента, когда все переходные процессы практически завершились (t = 800 с), и система вышла на установившийся режим. В этой точке была снята рабочая точка состояний всех динамических элементов модели.

С помощью инструмента линеаризации была получена линеаризованная модель в виде пространства состояний, описывающая динамику системы для малых отклонений от рабочей точки. Применение линеаризации представлено на рис. 6.

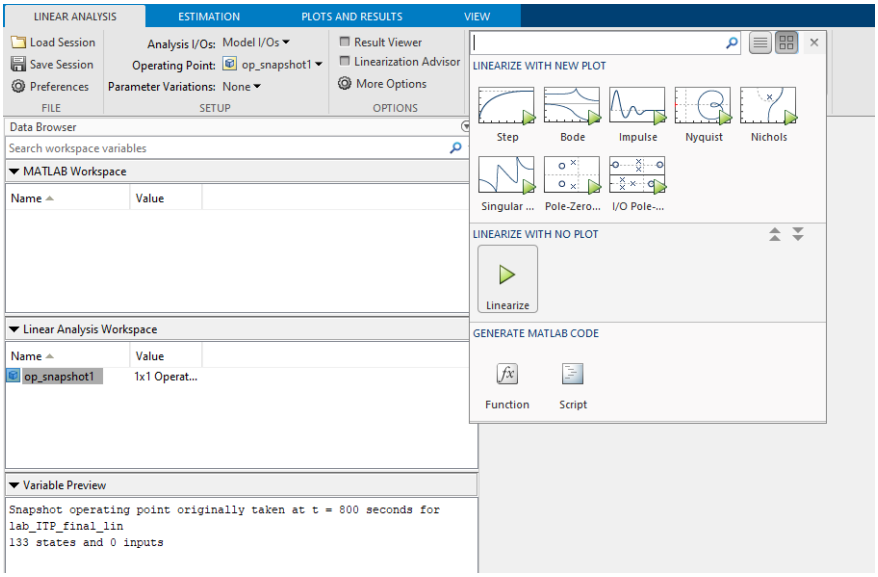


Рис. 6. Линеаризация рабочей точки

Для поддержания температуры в помещениях применяются комбинированные системы регулирования. Они сочетают принцип регулирования по отклонению и компенсации измеряемого возмущения. Сначала выполняется синтез системы регулирования по отклонению. Затем определяются передаточные функции возмущения и компенсатора.

Исходная моделируемая система является объектом с несколькими входами и одним выходом (MIMO) (рис. 7).

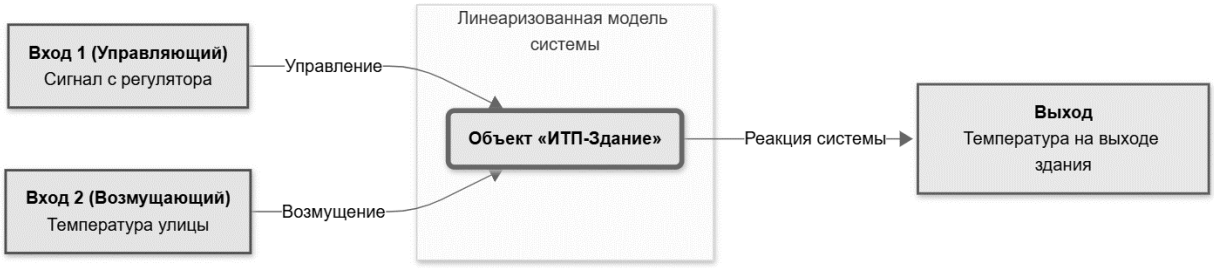


Рис. 7. Применение линеаризованной модели в автоматическом управлении

Для расчёта компенсирующего воздействия использована полученная линеаризованная модель. На её основе вычислены статические коэффициенты

усиления канала управления k_u и канала возмущения k_d. Статический компенсатор K_{ff} рассчитывается следующим образом:

$$K_{ff} = \frac{k_u}{k_d}, \quad (1)$$

что позволяет нейтрализовать влияние возмущения в статике.

Расчёты статического компенсатора производились в Matlab:

```
Wu = W(:,1);
Wd = W(:,2);

k_u = dcgain(Wu); % Коэф. усиления канала управления
k_d = dcgain(Wd); % Коэф. усиления канала возмущения

% Статический компенсатор
K_ff = -k_d / k_u;
```

Дополнительно разработан динамический компенсатор. В отличие от простого статического компенсатора, который эффективен только в установившемся режиме, динамический компенсатор призван нейтрализовать влияние возмущения во всем диапазоне рабочих частот. Идеальный динамический компенсатор W_{ff} рассчитывается следующим образом:

$$W_{ff} = -\frac{W_d}{W_u}, \quad (2)$$

где W_d – передаточная функция возмущения, W_u – передаточная функция управления.

Однако полученная таким образом передаточная функция может оказаться физически нереализуемой, если она содержит нестабильные полюсы. Для получения устойчивого и прикладного применимого компенсатора был использован метод проектирования на основе модели, а именно, процедура, основанная на принципах внутреннего управления моделью [13]. В соответствии с этим подходом, идеальная передаточная функция была подвергнута факторизации, в ходе которой все неустойчивые полюсы были зеркально отражены в левую, стабильную полуплоскость. Завершающим шагом стала калибровка статического коэффициента усиления для сохранения физически

корректного направления и силы воздействия компенсатора. В результате получен устойчивый динамический компенсатор, который затем преобразован в стандартный формат передаточной функции для интеграции в моделируемую систему.

Полученная логика реализована в виде кода для расчета передаточной функции компенсатора в MatLab/Simulink, фрагмент которого приведен ниже.

```
% 1. Расчет идеального компенсатора
W_ff_unstable = -minreal(Wd / Wu);
```

```
4 states removed.
```

```
% 2. Стабилизация методом зеркального отражения полюсов
[z, p, k] = zpkdata(W_ff_unstable, 'v');

% Создаем массив для новых полюсов
p_new = p;

% Ищем полюса в правой полуплоскости (Re > 0)
idx_unstable = real(p) > 0;
```

С помощью линеаризованной MIMO-модели получена система для статического и динамического компенсатора (рис. 8).

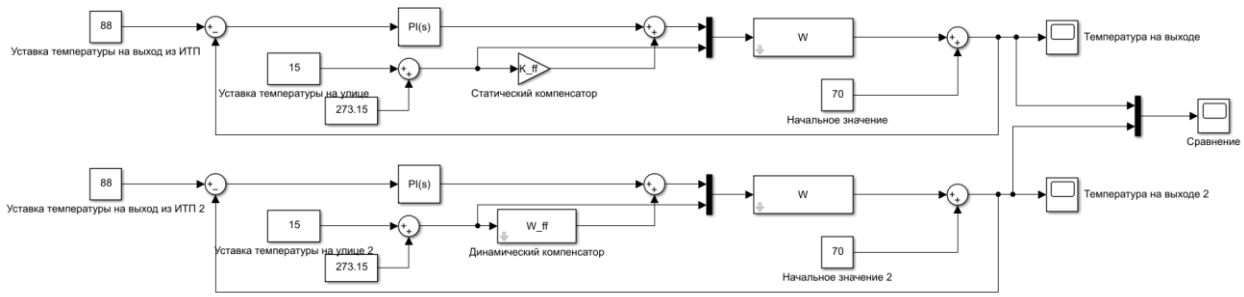


Рис. 8. Линеаризованная система со статическим и динамическим компенсатором

На рис. 9 представлены результаты моделирования реакции системы на изменение уставки. Сплошной линией показан отклик системы со статическим компенсатором, а пунктирной – с динамическим.

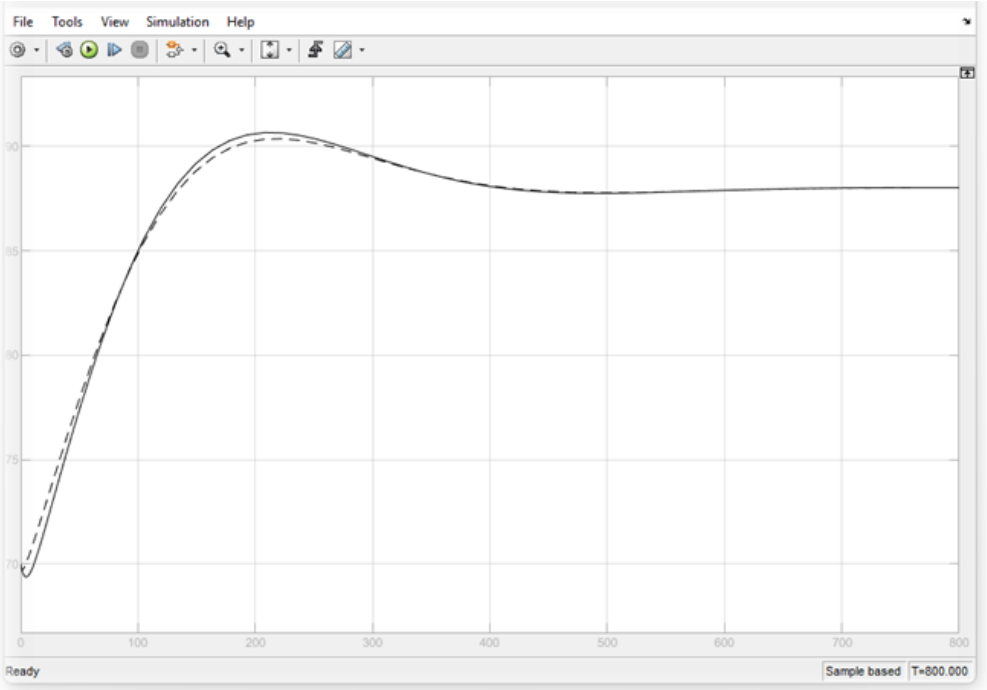


Рис. 9. Сравнение выходной температуры системы со статическим и динамическим компенсатором

Как можно заметить, с динамическим компенсатором система имеет меньшее перерегулирование и выходит на заданное значение более плавно, а также хорошо справляется с инерционностью системы, что можно заметить в самом начале при сравнении со статическим компенсатором.

Таким образом, для оценки эффективности предложенного подхода проанализирована реакция линеаризованной системы с комбинированным управлением на ступенчатое изменение уставки. Результаты моделирования показывают, что применение динамической компенсации в сочетании с обратной связью позволяет достичь желаемого качества переходного процесса.

Для управления ИТП может применяться контроллер ОВЕН ТРМ-1032М [14]. ТРМ-1032М – контроллер с готовыми алгоритмами для регулирования температуры в системах отопления и горячего водоснабжения (ГВС). Контроллер отопления и ГВС регулирует температуру по заданной уставке или отопительному графику, управляет запорно-регулирующим клапаном, циркуляционными насосами, поддерживает давление в системе отопления.

Для регулирования температуры в контуре ТРМ-1032М осуществляет вычисление уставки по заданному пользователем отопительному графику. Это позволяет поддерживать комфортную температуру в помещениях при изменении температуры наружного воздуха. График уставки можно отключить и регулировать температуру в контуре по фиксированному значению.

Следует отметить, что ИТП могут функционировать не только в жилых зданиях, но и в составе технологических установок. В настоящее время эффективное функционирование предприятий топливно-энергетического комплекса связано с энергоэффективностью. Одним из решений этой задачи является применение метода температурного соответствия [15].

В частности, способом повышения энергоэффективности и снижения затрат на эксплуатацию за счет отказа от внешней тепловой энергии на установках комплексной подготовки нефти (УКПН) является применение ИТП, заменяющих котельную установку. В этом случае в качестве горячего теплоносителя (источника) используются потоки, уходящие с установки в товарный парк. Например, в блоке стабилизации нефти УКПН таким потоком является стабильная нефть, уходящая из куба ректификационной колонны. Этот технологический поток разделяется на 2 части. Одна часть проходит через основной кожухотрубчатый теплообменник, нагревая сырую нефть, другая – через дополнительный кожухотрубчатый теплообменник, передавая количество теплоты, необходимое для нагрева потока воды из ИТП. Затем охлажденная нефть поступает в товарный парк. Расход нефти из куба ректификационной колонны регулируется клапаном.

Метод температурного соответствия позволяет определять оптимальные технологические параметры при реконструкции установки. В табл. 1 приведены потоки блока стабилизации нефти УКПН и их температуры.

Таблица 1

Температуры (Т) технологических потоков

Технологические потоки	**Т начальная, ˚С**	**Т конечная, ˚С**
Холодные		
Нагреваемый контур ИТП	70	95
Сырая нефть – основной ТО	25	60
Вода – дополнительный ТО	80	100
Горячие		
Греющий контур ИТП	100	80
Стабильная нефть – основной ТО	180	110
Стабильная нефть – дополнительный ТО	180	88
Широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ)	112	45

С применением VBA Excel разработаны программные модули [16, 17], позволяющие осуществлять обработку данных и решение задачи методом температурного соответствия. Первым этапом является сбор и подготовка данных о технологических потоках действующей установки. Затем энтальпийные изменения каждого потока отображаются на температурно-энтальпийной диаграмме. При построении составных кривых учитываются потоки с фазовыми переходами. Полученные температурно-энтальпийные диаграммы содержат интервалы нагрузок на холодные и горячие утилиты, перекрытия составных кривых.

Затем выполняется разделение на температурные интервалы. В пределах каждого температурного интервала определяются потоковые теплоемкости горячих и холодных потоков и потоковые энтальпии. Осуществляется сопоставление уровней температур и энтальпий нагреваемых и охлаждаемых потоков. Точки излома горячих и холодных составных кривых объединяются в массив энтальпий. Для каждой точки полученного массива вычисляются соответствующие значения температуры. Затем определяется минимальная

разность температур теплоносителей. Полученный результат по исходным данным таблицы 1 приведен на рис. 10.

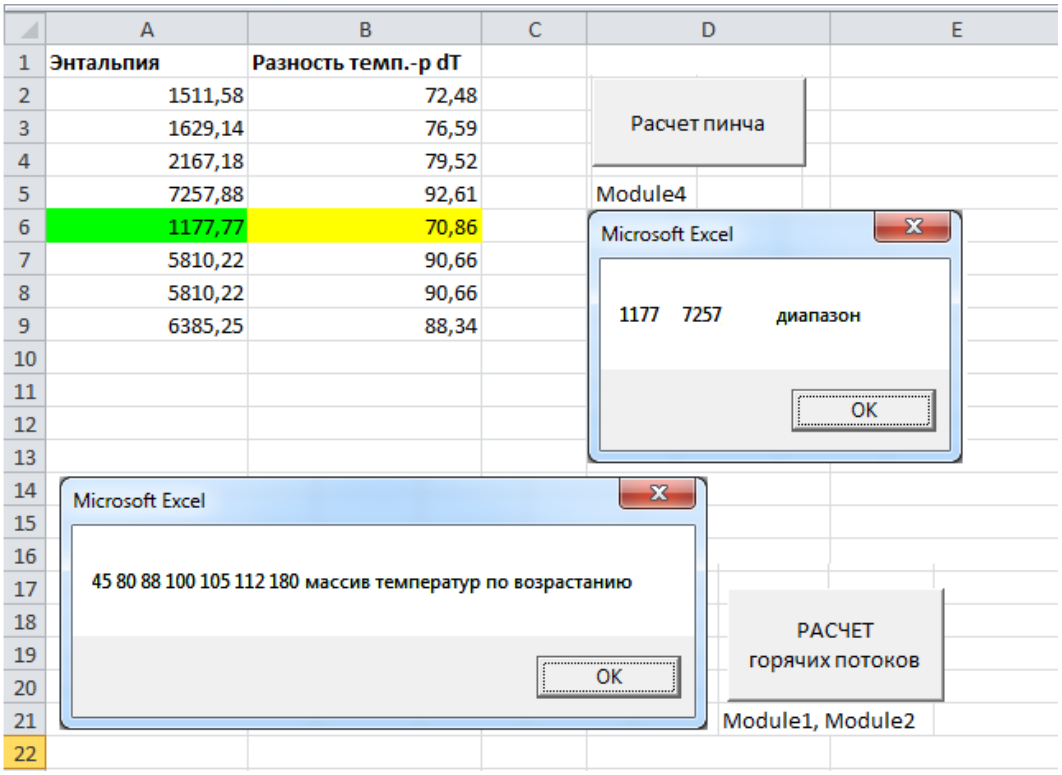


Рис. 10. Результаты расчета на действующей установке

Минимальная разность температур между теплоносителями составляет 70˚С. Для повышения энергоэффективности определяются условия и параметры, позволяющие снизить расход удельной теплоты от внешнего источника и разность температур между теплоносителями.

Таким образом, метод температурного соответствия позволяет оптимизировать системы теплообмена при реконструкции действующих производств. Для получения корректного результата необходимо выполнить анализ не отдельных аппаратов, а технологической установки в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горинов Ю.А., Анисимов П.Н, Егошин Е.В. Модернизация городских индивидуальных пунктов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2023. № 6. С. 43–53.

2. Батухтин А.Г., Середкин А.А., Палкин Г.А., Долгих Р.С. Автоматическое регулирование теплового режима административно-общественных зданий за счет применения комбинации нейронной сети и ПИД-регулятора // Проблемы региональной энергетики. 2025. № 4 (68). С. 77-89.
3. Бойко Е.А., Лебедев К.В. Система диагностики и управления техническим состоянием объектов теплоэнергетики на основе цифровых двойников // Энергобезопасность и энергосбережение. 2024. № 3. С. 74–85.
4. Тугашова Л.Г., Батыров А.Р., Мингалев М.Э., Мухаметшин Д.Д. Вариант имитационного моделирования систем теплоснабжения и отопления в SIMULINK/SIMSCAPE // Информатика и кибернетика. 2024. № 2 (36). С. 76–82.
5. Сабукевич М.Н. Преимущества перехода на индивидуальные тепловые пункты в системе городского теплоснабжения // Архитектура, строительство, транспорт. 2024. № 4. С. 68–76. DOI: 10.31660/2782-232X-2024-4-68-76.
6. Важдаев К.В., Мартяшева В.А., Аллабердин А.Б., Хамидуллин И.С., Муллоджанов Т.Т., Хабиров Ю.М. Автоматизированный индивидуальный тепловой пункт с системой рекуперации вторичной тепловой энергии // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024. Т. 51. № 1. С. 187–192.
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., Гильманова Д.Л., Сафиуллина Г.Х. Способ повышения энергоэффективности технологических установок // Управление техносферой. 2018. Т.1. №4. С. 362–371.
9. Kiss G.R., Horváth M., Szánthó Z. MATLAB Simulink-Based Modelling and Performance Analysis of District Heating Substations for Renewable Energy Integration // Energies. 2025. Vol. 18. Article 2370.
10. Abarkan M., M'Sirdi N. K., Errahimi F. Analysis and Simulation of the Energy Behavior of a Building Equipped with RESin Simscape // Energy Procedia. 2014. Vol. 62. P. 522–531. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.12.414.
11. Марьясин О.Ю., Колодкина А.С., Огарков А.А. Компьютерное моделирование «Интеллектуального здания» // Моделирование и анализ информационных систем. 2016. Т. 23, № 4.

12. Стрижак П.А., Морозов М.Н. Энергоэффективность системы теплоснабжения зданий при различных методах регулирования теплопотребления // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2014. №3(202). С. 88–96.
13. Process dynamics and control / Dale E. Seborg, University of California, Santa Barbara, Thomas F. Edgar, University of Texas at Austin, Duncan A. Mellichamp, University of California, Santa Barbara, Francis J. Doyle III, Harvard University, 2016.
14. ТРМ1032М Контроллер для отопления и ГВС ОВЕН [Электронный ресурс]: сайт ОВЕН-Уфа. URL: https://owen-ufa.ru.
15. Тишин О.А., Харитонов В.Н., Гатапова Н.Ц., Колиух А.Н. Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии: учебное пособие. Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. 92 с.
16. Тугашова Л.Г. Определение минимальной разности температур между теплоносителями в системе теплообмена // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. Альметьевск, 2023. С. 351 – 354.
17. Тугашова Л.Г. Повышение энергоэффективности и производительности на объектах топливно-энергетического комплекса с применением методов моделирования и оптимизации. Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2025. 100 с.

Поступила в редакцию: 16.11.2025

Сведения об авторах

Тугашова Лариса Геннадьевна
Кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и информационных технологий, 423462, Татарстан, Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», г. Альметьевск, ул. Советская, 186а. Россия.
E-mail: tugashova@yandex.ru

Латипов Булат Наилевич
Магистрант кафедры автоматизации и информационных технологий, 423462, Россия, Татарстан, Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», г. Альметьевск, ул. Советская, 186а. Россия.
E-mail: latipov.2002bulat@mail.ru

L.G. Tugashova, B.N. Latipov

IMPROVING THE MANAGEMENT OF AN INDIVIDUAL HEATING SUBSTATION AND OIL TREATMENT BASED ON PHYSICAL MODELING AND THE TEMPERATURE CORRESPONDENCE METHOD

Annotation. The paper addresses the problem of synthesizing a combined control system for an individual heating substation (IHS). A nonlinear model of the "IHS–building" system has been developed in the MatLab/Simscape environment. A linearization procedure of the model at a quasi-stationary operating point was carried out, and based on this, static and dynamic disturbance compensators were designed. Comparative analysis showed that the use of a dynamic compensator improves the quality of transient processes by eliminating overshoot. A way to increase energy efficiency at oil treatment plants is the use of an individual heating substation. Process streams are used as a heat source. The properties of the process streams of the oil stabilization unit are determined. Data processing and problem solving using the temperature correspondence method were carried out using VBA Excel. Optimal technological parameters for the reconstruction of the facility are calculated.
Keywords: modeling, temperature, individual heating unit, combined control, technological flows, unified oil processing unit.

For citation: Tugashova L.G., Latipov B.N. [Improving the management of an individual heating substation and oil treatment based on physical modeling and the temperature correspondence method] *Upravlenie tekhnosferoi,* 2026, vol. 9, issue 2, pp. 454–472. DOI: 10.35634/UdSU.2026.65.50.012. (In Russ.).

REFERENCES

1. Gorinov Yu.A., Anisimov P.N., Egoshin E.V. Modernizatsiya gorodskikh individual’nykh teplo vykh punktov [Modernization of urban individual heat supply stations], *Izvestiya vysshikh ucheb nykh zavedeniy. Problemy energetiki* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Power En gineering], 2023, no. 6, pp. 43–53. (In Russ.).
2. Batukhtin A.G., Seredkin A.A., Palkin G.A., Dolgikh R.S. Avtomaticheskoe regulirovanie teplo vogo rezhima administrativno-obshchestvennykh zdaniy za schot primeneniya kombinatsii neyr onnoy seti i PID-regulyatora [Automatic control of the thermal regime of administrative and pu blic buildings through the use of a combination of a neural network and a PID controller], *Problemy regional'noi ehnergetiki* [*Problems of Regional Energy*], 2025, no. 4 (68), pp. 77–89. (In Russ.)
3. Boyko E.A., Lebedev K.V. Sistema diagnostiki i upravleniya tekhnicheskim sostoyaniem ob"ek tov teploenergetiki na osnove tsifrovykh dvoynikov [A system for diagnostics and management

of the technical condition of heat power facilities based on digital twins],*Energobezopasnost'i e nergosberezhenie* [Energy Safety and Energy Saving], 2024, no. 3, pp. 74–85. (In Russ.).

4. Tugashova L.G., Batyrov A.R., Mingalev M.E., Mukhametshin D.D. Variant imitatsionnogo modelirovaniya sistem teplosnabzheniya i otopleniya v SIMULINK/SIMSCAPE [A variant of simulation modeling for heat supply and heating systems in SIMULINK/SIMSCAPE], *Informatika i kibernetika* [Informatics and Cybernetics], 2024, no. 2 (36), pp. 76–82]. (In Russ.).
5. Sabukevich M.N. Preimushchestva perekhoda na individual'nye teplovye punkty v sisteme gorodskogo teplosnabzheniya [Benefits of individual heat points in municipal heat supply], *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, Construction, Transport], 2024, no. 4, pp. 68–76. DOI: 10.31660/2782-232X-2024-4-68-76. (In Russ.)
6. Vazhdaev K.V., Martyasheva V.A., Allaberdin A.B., Khamidullin I.S., Mullodzhanov T.T., Khabirov Yu.M. Avtomatizirovannyy individual'nyy teplovoy punkt s sistemoy rekuperatsii vtorichnoy teplovoy energii [Automated individual heat point with a secondary heat energy recovery system], *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences], 2024, vol. 51, no. 1, pp. 187–192. (In Russ.)
7. Yushkova E.A., Lebedev V.A. Povyshenie energoeffektivnosti vakuumnoy ustanovki peregonki mazuta s pomoshch'yu pinch-analiza [Improving the energy efficiency of a vacuum fuel oil distillation unit using pinch analysis], *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], 2023, vol. 261, pp. 415–427. (In Russ.)
8. Tugashova L.G., Gil'manova D.L., Safiullina G.Kh. A method for improving the energy efficiency of technological installations [Sposob povysheniya energoeffektivnosti tekhnologicheskikh ustanovok], *Upravlenie Tekhnosferoy*. 2018, vol. 1, no. 4, pp. 362–371. (In Russ.).
9. Abarkan M., M'Sirdi N. K., Errahimi F. Analysis and simulation of the energy behavior of a building equipped with RES in Simscape, *Energy Procedia*, 2014, vol. 62, pp. 522–531. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.12.414.
10. Kiss G.R., Horváth M., Szánthó Z. MATLAB Simulink-based modelling and performance analysis of district heating substations for renewable energy integration, *Energies*, 2025, vol. 18, article 2370.
11. Mar'yasin O.Yu., Kolodkina A.S., Ogarkov A.A. Komp'yuternoe modelirovanie «Intellektual'nogo zdaniya» [Computer modelling of a "smart building"], *Modelirovanie i analiz*

informatsionnykh sistem [Modelling and Analysis of Information Systems], 2016, vol. 23, no. 4. (In Russ.).

12. Strizhak P.A., Morozov M.N. Energoeffektivnost' sistemy teplosnabzheniya zdaniy pri razlichnykh metodakh regulirovaniya teplopotrebleniya [Energy efficiency of building heat supply systems under different methods of heat consumption control], *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta* [Scientific and Technical Statements of Saint-Petersburg State Polytechnic University], 2014. no. 3(202), pp. 88–96. (In Russ.).
13. Seborg D.E., Edgar T.F., Mellichamp D.A., Doyle F.J.III. *Process dynamics and control*. University of California, Santa Barbara; University of Texas at Austin; University of California, Santa Barbara; Harvard University, 2016.
14. OWEN. *TRM1032M kontroller dlya otopleniya i GVS OVEN* [TRM1032M controller for heating and hot water supply], electronic resource. Available at: https://owen-ufa.ru. (In Russ.).
15. Tishin O.A., Kharitonov V.N., Gatapova N.Ts., Koliukh A.N. *Teoreticheskie osnovy energo- i resursosberezheniya v khimicheskoi tekhnologii* [Theoretical foundations of energy and resource conservation in chemical technology]: textbook. Tambov, TSTU Publ., 2012, 92 p. (In Russ.).
16. Tugashova L.G. Opredelenie minimal'noi raznosti temperatur mezhdu teplonositelyami v sisteme teploobmena [Determining the minimum temperature difference between heat carriers in a heat exchange system], *Dostizheniya, problemy i perspektivy razvitiya neftegazovoi otrasli* [Achievements, problems and prospects of the oil and gas industry development]: proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference. Almetyevsk, 2023, pp. 351–354. (In Russ.).
17. Tugashova L.G. *Povyshenie energoeffektivnosti i proizvoditel'nosti na ob"ektakh toplivno-energeticheskogo kompleksa s primeneniem metodov modelirovaniya i optimizatsii* [Improving energy efficiency and productivity in fuel and energy complex facilities using modelling and optimization methods]. Almetyevsk, Almetyevsk State Petroleum Institute, 2025, 100 p. (In Russ.).

Received: 16.11.2025

About the Authors

Tugashova L.G.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of department of automation and information technologies, Almetyevsk State Technological University «Higher School of Petroleum», 423462, Tatarstan, Almetievsk, 186a Sovetskaya street. Russia.
E-mail: tugashova@yandex.ru

Latipov B. N.
Master's student of the Department of Automation and Information Technologies, Almetyevsk State Technological University «Higher School of Petroleum», 423462, Russia, Tatarstan, Almetyevsk, 186a Sovetskaya Street. Russia.
E-mail: latipov.2002bulat@mail.ru